IDEI CONTEMPORANE
CERTITUDINILE
ŞI
INCERTITUDINILE
ŞTIINŢEI
LOUIS DE BROGLIE

EDITURA POLITICA
IDEI
CONTEMPORANE
LOUIS DE BROGLIE
Membru al Academiei franceze, laureat al Premiului Nobel
CERTITUDINILE ŞI INCERTITUDINILE ŞTIINŢEI
Cuvânt înainte şi control ştiinţific:
EDMOND NICOLAU
Traducere din limba franceză:
1. PECHER
19 8 O
EDITURA POLITICA
BUCUREŞTI
LOUIS DE BROGLTE
CERTITUDES ET INCERTITUDES DE LA SCIENCE
Editions A! bi n Michel, Paris, 1966
Cuvânt înainte

Contactul cu marii creatori este întotdeauna binevenit, noi, cititorii, câştigând prin aceasta nu numai o mare bogăţie de informaţii, dar, ceea ce este mai preţios, pătrunzând, astfel, în acel sanctuar intim al gândurilor proprii unui om care şi-a adus contribuţia la sporirea tezaurului făurit de omenire în artă sau în ştiinţă. Şi fără îndoială că Louis de Broglie este un mare creator în ştiinţă – fiind descoperitorul undelor asociate particulelor în mişcare. Dar, în acelaşi timp, el este un gânditor profund ce reflectă la problemele filosofice ale ştiinţelor, un umanist la curent cu marile probleme ale culturii, un bun cunoscător al gândirii clasice şi al artei – aşa cum rezultă din studiile, cuvântările şi articolele grupate în prezentul

„olum. Totodată este un savant sensibil la problemele colectivităţii căreia îi aparţine, ceea ce reiese din intervenţiile sale cu privire la unele probleme fundamentale ale contemporaneităţii.

Desigur, el aparţine galeriei marilor savanţi şi din acest punct de vedere ne vom strădui ca în cele ce urmează să caracterizăm cât mai succint contribuţia sa majoră la istoria ştiinţei, în particular a fizicii. Vom fi însă obligaţi să facem unele aprecieri şi asupra modului în care s-a ajuns la teoria sa, ca şi asupra dezvoltărilor ulterioare ale acestei teorii. La fel după cum vom fi puşi în situaţia de a formula puncte de vedere proprii societăţii noastre, modului nostru de a judeca şi a rezolva problemele, atunci când vom trece la analiza problemelor învăţământului şi cercetării ştiinţifi. ce.

Louis de Broglie a intrat în istoria ştiinţei prin ideea asocierii unor unde particulelor în mişcare – idee expusă cu claritate în teza sa cip doctorat (1924) şi chemată să joace un rol deosebit de important în dezvoltarea mecanicii cuantice. Născut în 1892, secretar perpetuu al Academiei de Ştiinţe din Paris, pe numele său complet Louis-Victor-Pierre-Raymond de Broglie, acest savant a înaintat cu greu pe treptele ierarhiei universitare: deşi laureat al Premiului Nobel pentru fizică din 1929, în 1930 nu era decât conferenţiar la Sorbona.

Dar să revenim la contribuţia sa fundamentală, adică la descoperirea undelor asociate particulelor în mişcare, descoperire ce stă la baza mecanicii ondulatorii, etapă esenţială în dezvoltarea mecanicii cuantice actuale. La baza undelor lui de Broglie stau anumite cercetări mai vechi, întreprinse în epoca

— W A*.

clasica a fizicii matematice, privind aşa-numita ecuaţie a undelor, adică ecuaţia cu derivate parţiale care descrie iniţial modul în care se propagă perturbaţiile într-un mediu elastic. Ca exemple citărn ce uaţia coardei vibrante „care corespunde propagării vibraţiilor într-o coardă întinsă, deci unor unde unidimensionale, sau

ecuaţia propagării sunetului, în aer, unde avem unde tridimensionale. Stabilită iniţial pentru mediile elastice, ea a fost extinsă ulterior la ipoteticul eter prin care se propagau vibraţii le luminoase. Marele fizician Maxwell a arătat că ecuaţia undelor descrie în anumite cazuri propagarea undelor electromagnetice – şi aceasta independent: de ipoteza eterului. În acelaşi timp, Maxwell a arătat că undele luminoase sunt unde electromagneţi cf. După cum se ştie, această ipoteză a existenţei undelor electromagnetice, deduse de Maxwell prin calcul, a fost demonstrată experimental de H. Hertz.

În zilele noastre, unii fizicieni care recunosc importanţa aşa-numitului grup de transformări al lui Lorentz au uneori tendinţa de a considera ecuaţia undelor ca un postulat general, într-un sens mai general chiar decât ecuaţiile lui Maxwell. Această a/irtnaţie, cuprinsă şi în prefaţa uneia dintre lucrările de tinereţe a lui de Broglie[1], merită să fie explicată.

Mult tâmp fizică a fost dominată de ideea forţelor care se propagă instantaneu. A st fel, pentru mecanica cerească în forma dată de Newton, interacţiunea dintre două corpuri cereşti se produce printr-o forţă de tipul f = km în „fd2, unde mt şi m „sunt masele celor două corpuri, ci este distanţa dintre ele, iar k – o constantă universală. 1 n acest mod de prezentare nu se spune nimic despre o eventuală propagare, variabilă în timp, a unei perturba ţii gravifice în jurul maselor variabile în timp. Pentru noi, care considerăm că acţiunile se pot propaga numai din aproape în aproape, acest mod newtonian de descriere a interacţiunilor gravifice nu este satisfăcător. Dar perturbaţie care se propagă din aproape în aproape este, p rob abil, o undă. 1 aţă de ce şi de Broglie începe lucrarea amintită prin studiul ecuaţiei undelor.

Este însă cazul să căutăm rădăcinile istorice ale concepţiei lui de Broglie privind legătura dintre unde şi corpusculi.

Se poate afirma că, în deducţiile sale, L. de Broglie a

1 L. de Broglie, Ondes el mouvements, Gauthier-Villars, Paris, 192G.

utilizat sistematic teoria relativităţii restrânse, dar, în acelaşi timp, trebuie subliniat rolul important pe care l-a jucat analogia dintre formalismul mecanicii analitice şi cel al opticii, cunoaşterea profundă a fizicii clasice, o mare cultură matematică şi fizică.

nei-i din antichitate, Heron din Alexandria arătase că lumina, atunci când se propagă, urmează drumul cel mai scurt. Cu mult mai târziu, Pierre de Fermat (1601 – 1653) stabilise principiul care îi poartă numele, principiu conform căruia, atunci când se propagă chiar şi într-un mediu neomogen, lumina se propagă astfel încât timpul de propagare este un extrem – de obicei un minim. 1 n secolul următor „Pierre-Louis Moreau de Jlaupertuis (1698 – 1759) a enunţat un principiu analog pentru mecanica corpului material, principiu extins de William Rosvan Hamilton (1805 – 1863), care a arătat că întreaga mecanică clasică poate fi dedusă din principiul acţiunii minime – stabilind astfel un caz mai general decât cel studiat de Maupertuis.

Aprofundând această analogie, de Broglie începe să compare unele procese ondulatorii cu mişcarea electronilor, publicând, în 1923, în Comptes Rendus de l'Academie des Sciences de Paris un prim memoriu. În anul următor îşi susţine teza de doctorat, adâncind aceste idei. Apoi publică rezultate mai generale în reviste de specialitateK

Bazându-se tocmai pe analogia dintre mecanică şi optică, de Broglie face să corespundă unei particule o undă – aşa-numita undă asociată. Dacă se i „* 1* notează cu v viteza particulei şi cu u viteza undei asociate, atunci subzistă relaţia uv = c2 – unde e este viteza luminii. În concepţia lui de Broglie particula este considerată ca un pachet de unde, fiecare undă având o viteză de fază proprie, centrul de energie al sistemului propagându-se cu viteza v. Ajunşi în acest punct, este necesar să facem unele precizări, atât istorice, cât şi de interpretare. La rândul lor, considerentele istorice se referă, unele, la dezvoltarea fizicii înainte de L. de Broglie, altele, după apariţia teoriei sale.

Într-un studiu dedicat lui Fresnel, L. de Broglie ne face să urmărim o linie interesantă de gândire privind teoriile luminii[2]. Raportându-se la Newton, trebuie să evidenţiem contribuţia sa la teoria luminii, pe care o considera ca fiind formată din corpusculi ce se supun mecanica, mai exact dinamica punctului material. Teoria lui Newton – numită şi teoria emisiei – explica anumite fenomene optice, cum ar fi reflexia şi refracţia, dar nu putea explica alte fenomene, descoperite chiar de Newton, şi anume inelele de interferenţă, cum se numesc ele astăzi.

Opusă teoriei corpusculilor optici – te or le ce pare a-şi avea originea în antichitate, în teoria atomistă expusă de Lucreţiu – este teoria ondulatorie, a cărei expunere se află în tratatul lui Christian Huy gens[3] (1629 – 1695). La el întâlnim expusă cu claritate concepţia conform căreia lumina este analoagă unei perturbaţii ondulatorii ce se propagă pe suprafaţa unei ape liniştite. Huygens putea să interpreteze astfel atât toate fenomenele explicate prin teoria emisiei, cât şi fenomenele de interferenţă, pe care această teorie nu le putea lămuri. Aceste idei ondulatorii îşi găsesc o dezvoltare explozivă în opera lui Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827) care, recurgând la un l instrument matematic simplu, construieşte un sistem teoretic suficient pentru interpretarea tuturor rezultatelor din optica acelor timpuri. Dar este meritul altor fizicieni de a fi ridicat optica pe o treaptă nouă: ne referim, în prif, tul rând, la Gustav-Robert Kirchhoff (1824 – 1887) care, plecând de la formalismul fizicii matematice, reuşeşte să reducă ipotezele la care ajunsese Fresnel la ecuaţia undelor scalare[4]. Alai mult, cu ajutorul unei teoreme clasice care îi poartă numele, demonstrase că optica geometrică – adică optica razelor luminoase – este doar un caz limită al opt ci

---

2 La Physique moderne et loeuvre de Fresnel, în „Recueil ••’exposâs sur les on les et corpuscules“, Hermann, Paris, 1930, p. 1.

3 Traile de la Lumiere, llaga, 1690; reeditare, Gau- thier-Villars, Paris, 1920.

4 Edm. Nicolau, Cimpuri şi linde elcctromagieticc, Editura Acadcmici R.S.H., Bucureşti, 1972.

i ondulatori i, caz corespunzând frecvenţelor foarte mari, adică lungimilor de undă foarte mici.

Succesul concepţiei ondulatorii a fost considerabil, mai ales în momentul în care ea a explicat fenomenele de difracţie şi de interferenţă. În plus, măsurarea de către Fizeau şi Foucault a vitezei luminii în diferite medii arăta că teoria emisiei e greşitli – valorile determinate experimental fiind fundamental diferite de cele prezise de Newton. Astfel s-a ajuns în situaţia în care în fizică existau două concept îi diferite: pe de o parte, fizica particulelor, a corjuirilor ce se supun dinamicii newtoniene; pe de altă parte, fizica ondulatorie. Dar ambele puteau fi deduse din principii variaţionale foarte asemănătoare, stabilite de Ilamilton, respectiv de Fresnel. Asemănarea fundamentală dintre ele stă în faptul că ambele princ Apii se pot formula în mod identic, cerând ca variaţia unei integrale să fie nulă pentru mişcarea reală – a unei particule materiale în cazul me

* * a j, r\. w canicii, a unei raze în cazul opticii. Dar există şi o diferenţă importantă: sub semnul integralei stau w 1*pe A w w. I

mărimi diferite: în cazul mecanicii, la numărătorul integrantului figurează viteza particulei, în timp ce în cazul opticii apare tot viteza, dar la numitor. Ideea esenţială a lui L. de Broglie a constat în identificarea celor două procese, postulând că unei par» I A w 1 w w. wticule în mişcare i se asociază o undă, a cărei viteză de fază este invers proporţională cu viteza sa. 1 n modul acesta cele două principii variaţionale devin identice, deci asistăm la un proces de integrare a

W. 1 w. w 1 w

cărei importanţă nu poate scăpa nimănui: mecanica corpului material şi optica ondulatorie se integrează într-un singur edificiu.

Acest proces arată, odată în plus, lungul travaliu al spiritului uman, care în ştiinţă valorifică toate rezultatele parţiale obţinute în întreaga sa istorie.

Importanţa concepţiei lui de Broglie este

considerabilă. Această teorie a apărut în contextul unor mari prefaceri ale fizicii de la începutul secolului nostru. În 1900 Max Planck (1858 – 1947) propusese teoria cuantică, conform căreia emisia energiei se face prin pachete, numite cuante, deci în niod discret. În 190) Albert Einstrin (1879 – 1955) elaborase teoria relativităţii restrânse. Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928) formulase, în jurul anului 1900, teoria electronilor, bazată tocmai pe concepţia unor particule având sarcini electrice multiple ale unei sarcini fund linenlafe. În 1913, Niels Bohir (1885 – 1962) elaborase modelul de atom ce îi poartă numele. I.J. de Broglie extinde conreplele sale ondulatorii la mişcarea electronilor pe orbitele atomului lui Bohr, dând o explicaţie simplă unor numere cuantice (obligaţia ca pentru mişcarea staţia nară, pe o orbită d ltă, la efectuarea unui ciclu unda as o – ciată să varieze ca fază cu un multiplu, dr>.’2 r). Având

În vedere caracterul ondulatoriu al mişcării particulelor în această teorie elaborată de L. de Broglie, rezultă imediat şi posibilitatea de a căuta verificarea experimentală a teoriei, prima difracţia electronilor pe anumite reţele cristaline. În 1927, Davisson şi Germer aduc şi această dovadă experimentală.

Este un moment de cotitură în dezvoltarea fizicii teoretice şi a filosofiei ştiinţei. Într-un interval scurt de timp se elaborează mecanica cuantică, în special prin lucrările lui Heisenberg, Schrödinger şi Dirac. Istoricul acestei dezvoltări poate fi urmărit în lucrări speciale[5]. Esenţială este însă identificarea particulelor în mişcare, deci a substanţei, cu mişcarea ondulatorie a materiei, deci cu câmpul.

Omul dispune astfel de un instrument teoretic cu

5 l\Iax von Laue, Istoria fizicii, Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1963; Academia de Ştiinţe a U. R. S. S., Dezvoltarea ideilor fundamentale ale fizicii, Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1960; P. A.l\I. Dirac, Evoluţia concepţiilor fizicienilor asupra tabloului naturii, în: Materialismul dialectic şi ştiinţele naturii, Editura politică, Bucureşti, 1964, p. 7; \V. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipicn der Quantentheorie, Verlag Hirzel, Leipzig, 1930.

care poate investiga microcosmosul. Iar urmările sunt dintre cele mai importante pentru practica. Ne referim la inventarea dispozitivelor electronice cu semiconductori, descoperire ce nu ar fi fost posibilă y1 w w. * 1” w *

fără stăpânirea legilor care guvernează mişcarea electronilor în corpul solid, adică fără cunoaşterea mecanicii cuantice.

Şi fiindcă aceste descoperiri sunt legate de ceea ce se numeşte, cu un termen generic, „radio1, trebuie să arătăm că şi L. de Broglie a avut astfel de preoctipări. Meniionăm tratatul său clasic priind ghidurile de undă[6]. Dar acest contact s-a menţinut şi

1/1, mai târziu, L. de Broglie fiind mereu interesat de ceea ce este nou în electronică. Şi în prezentul volum întâlnim articolul său privind dispozitivele electronice semiconductoare, istoria radioului etc.

Legăturile sale cu problemele electromagnetismului teoretic au fost profunde. Amintim o lucrare mai puţin cunoscută, în care, plecând de la electromagnetismul clasic, ajunge la teoria cuantică a câmpului[7]. Acest domeniu a cunoscut o dezvoltare continuă în ultimele decenii, astfel încât va fi necesar să ne oprim un moment asupra sa.

Teoria cuantică a câmpului este o teorie a substanţei şi a câmpului, care a rezultat din fuziunea mecanicii cuantice cu teoria relativităţii restrânse, la sfârşitul anilor ’20. După o serie de fluctuaţii în aprecierea ei de către comunitatea oamenilor de ştiinţă, înul

9 9

clinul timp este unanim acceptată şi constituie principalul cadru prin care se consideră problemele fundamentale ale fiziciiaceasta ca urmare a unor răsunătoare succese. În anul 1926, Born, Heisenberg şi Jordan şi-au îndreptat atenţia asupra câmpului

6 L. de Broglic, Problemes de propagation guiclee des ondes electromagneliqncs, Gauthier-Villars, Paris, 1.

7 L. de Broglie, Elat aduci de la thâorie llectromagnâ- tiqne, CongrC3 i nt orna 1 ional d’ electrici te, Paris, 1932, secţia 1, raport nr. 16.

electromagnetic în spaţiul vid, în absenţa sarcinilor şi curenţilor. Urmează, la intervale de câte un an, alte

9 / f memorii fundamentale datorate lui Jordan şi Eugene Wigner, lui Enrico Fermi, Heisenberg şi Pauli. În 1934 se demonstrează că teoria cuantică a câmpului încorporează în mod natural teoria antiparticulelor – adică a particulelor la care unele mărimi caracteristice au semn opus celor cunoscute până atunci. În 1936 Hideki Yukarva prezice existenţa unei noi particule, descoperită efectiv ulterior, în cursul unor experimente. 1 n continuare, se emit, într-un ritm susţinut, idei dintre cele mai importante pentru fizică. Ideea renormalizării a fost formulată de Weisskopf în 1936. Teoria lui Scfavinger, Tomon) ga, Feyaman şi Dyson, fără să constituie o nouă teorie şi: „ră, fiind, de fapt, vechea teorie cuantică, este însă reformulată într-un mod ce se pretează mii, bine la e? – leule şi prevăzută cu definiţii mai realiste ale mărimilor fizice[8]. Astăzi, teoria cuantică a câmpului este încă o teorie în dezvoltarel, existând eforturi de a unifica diferitele câmpuri cunoscute, deoarece nu există încă o teorie cuantică care să cuprindă şi gravitatea, de exemplu. Totuşi, trebuie sli menţionăm că există şi teoreticieni care susţin

, 9, că o astfel de unificare a tuturor câmpurilor fizice nu este posibilă, căutarea unei teorii absolut unitare fiind o himeră.

Revenind la interesul lui L. de Broglie pentru fenomenele electromagnetice, trebuie arătat că, printre altele, el a elaborat o nouă teorie electromagnetică. Această teorie se caracterizează prin aceea că modifică eruaţiile câmpului – aşa cum au fost ele stabili te de Maxwell –, introducând termeni suplimentari, care devin semnificativi numai în probleme ce fac st ” i intervină distanţe foarte mari, deci în probleme de cosmologie. Această teorie a fost investigată matematic de către Gr. C.

---

8 Steven Weinberg — laureat al Premiului Nobel, 1979 -- , Quantum ficld tlteory, Dacdalus, 106, 4, 17.

Moisil[9]. Ulterior, Edm. Nicolau, plecând de la aceste cercetări, a arătat care sunt modificările liniare posibile – în anumite limite dateale ecuaţiilor lui Maxwell[10]. L. de Broglie reia această idee şi într-un studiu din prezentul volum. Pentru a-l caracteriza pe L. de Broglie, trebuie arătat că el a acordat întotdeauna o mare importanţă interpretării filosofice a diferitelor teorii fizice. Dovadă, stau şi numeroasele sale volume în care discutli, astfel de teorii. Trebuie însă recunoscut că întreaga fizică modernă ridică probleme filosofice dificile, iar seria acestor dificultăţi pare a fi deschisă chiar de Ij. de Broglie prin farmularea explicită a dualităţii corpuscul-undă. Este greu ca, după ce am fost familiarizaţi cu concepţia conform căreia electronul este o particulă pe care ne-o putem închipui ca pe o bilă mică – aşadar precis localizată spaţial –, să admitem că acest electron poate fi şi undă; rezultă ca acela-şi electron are o mare extindere spaţială, mianifestându-se deci în anumite experimente într-un fel şi în altele exact contrar. Astfel de probleme au fost şi sunt amplu discutate în literatura filosofică de specialitate[11], ca şi în relaţiile lui Heisenberg.

*

În acest volum, Louis de Broglie, în afara unor probleme importante legate de fizica teoretică, abordează şi chestiuni de istorie a tehnicii, ca şi unele probleme ale societăţii contemporane. Ne referim la intervenţiile sale privind învăţământul, cercetarea, ştiinţa şi aplicaţiile ei – teme tratate în ultima parte a volumului de faţă.

Autorul pleacă de la constatarea că în cercetare se porneşte de la o atitudine contrară celei existente în

---

9 Gr. C. Moisil, ASltpra ecuaţiilor maxwelliene ale lui L. de Broglie pentru particulele de spin 1, Studii şi cercetări de fizică, 1, 1, 23, 1950.

10 Edin. Nicolau, Propagarea undelor electromagnetice, Editura Academiei R. P. H., Bucureşti, 1900, p. 100—101.

11 Mihail Florescu, Dimensiunile cunoaşterii, Editura politică, Bucureşti, \9H\ Frederick Suppe (ed.), The Structure of scientific theories, Uni versi l y of 1 llinois Press, 1974, G82 p.; Max J ammei-, The Ph/lo.vophy of quantum mechanics, J. Wiley, New York, 197*.

învăţământ: pe scurt, cercetarea presupune o ştiinţă mobilă, în devenire, în timp ce învăţământul presupune o ştiinţă cristalizată, fixă. Fără îndoială, în învăţământ se predau faptele cunoscute, teoriile elaborate, în timp ce în cercetare se urmăreşte descoperirea necunoscutului. Dar lucrurile trebuie privite în dinamica lor: învăţământul nu este o structură rigidă – dovadă schimbările profunde ce s-au operat în manualele de învăţământ general, în ultim îi 10 ani să spunem, ca urmare a progreselor remarcabile realizate în genetică, cunoaşterea cosmosului, electronică, teoria corpului solid etc. La fel, în domeniul matematicii, la acelaşi nivel al şcolii generale, se predau cunoştinţe de teoria mulţimilor. În liceu se predau elemente de structuri algebrice, calculul probabilităţilor, ecuaţii diferenţiale. În domeniul ştiinţelor sociale întâlnim aceeaşi pătrundere, în şcoală, a unor puncte de vedere moderne. După cum nu trebuie uitat că întreaga cercetare se bazează pe formarea, în şcoală, a cercetătorilor.

Este cazul să remarcăm că şi în acest domeniu la noi în ţară s-a făcut un mare pas înainte prin legarea mai strânsă, în cadrul procesului ele integrare, a învăţământului cu cercetarea şi producţia. Tânărul care se formează în şcoală are posibilitatea să cunoască mai devreme ce înseamnă cercetarea, îşi

poate forma deprinderi şi în acest domeniu, înţelegând – şi aceasta ni se pare esenţial – dialectica modului în care se trece, în permanenţă, de la cunoscut la necunoscut. Iar, prin verificarea în practică a cunoştinţelor dobândite, la verificarea temeiniciei lor. După cum se arată în „Programul-directivă de cercetare ştiinţifică, dezvoltare tehnologică şi de introducere a progresului tehnic în perioada 1981 – 199 (* şi direcţiile principale până în anul 2000, adoptat la cel de-al XII-lea Congres al P.C.R., w r *

„Este necesar să se acţioneze cu fermitate pentru

* * w * * 7

orientarea permanentă a activităţii de cercetare spre cerinţele concrete ale dezvoltării industriei, agricu Iturii,

construcţiilor, transporturi lor, celorlalte ramuri ale economiei naţionale şi vieţii sociale, legarea tot mai strânsă a ştiinţei de producţia de bunuri materiale şi spirituale. Rolul activ al ştiinţei în acest domeniu trebuie să se manifeste atât prin participarea nemijlocită a cercetătorilor la îndeplinire a sarcinilor de plan ce revin unităţilor de producţie în fiecare perioadă, cât şi prin elaborarea de noi soluţii tehnologice pentru dezvoltarea în perspectivă a diferitelor sectoare ale vieţii economico-sociale" i

Considerăm justă necesitatea semnalată de autor a reformării învăţământului spre a face loc noilor cuceriri ale ştiinţei, ca şi a „umanizării" ştiinţei

I

prin introducerea unor elemente de istorie a ştiinţei. Credem că prin integrarea învăţământului, aşa cum se procedează la noi, se creează o bază pentru asigurarea unei bune metode de transmitere a ştiinţei, ca şi pentru legarea ei de viaţă.

Astăzi, când utilajul ştiinţific a devenit atât de costisitor, când sumele absorbite de cercetări cresc vertiginos, dezideratul propus de autor de a i se lăsa cercetătorului libertate absolută în investigaţiile sale este contrazis de experienţa socială în întreaga lume. Evident, în cercetarea teoretică fundamentală, fiecare autor are o libertate deplină. Dar chiar şi în unele cercetări, să spunem de genetică, unde din eprubetă pot ieşi viruşi extrem de periculoşi, are oare cercetătorul libertatea de a crea orice? Evident nu! De altminteri chiar autorul, în studiul următor privind viitorul ştiinţei, se arată conştient de pericolul nuclear – deci implicit de necesitatea îngrădirii obligatorii a libertăţii de a face orice în numele libertăţii de cercetare ştiinţifică. Louis de Broglie se vădeşte optimist în faţa viitorului, fără a specifica ce anume, ce factor raţional ne dă încredere în progresul ştiinţei.

Dar, ceea ce este poate mai important, volumul se termină cu o idee deosebit de frumoasă: chiar dacă ştiinţa

devine din ce în ce mai mult o unealtă minunată, în acelaşi timp ea rămâne un mare ornament al spiritului.

Societatea noastră se bazează pe ştiinţă şi fără nicio îndoială că societatea viitorului se va baza tot mi-ai mult pe ştiinţă. Iar în dezvoltarea ştiinţei contemporane, Louis de Broglie a adus o contribuţie majoră, dualitatea corpuscul-undă fiind şi o ilustrare a modului în care dialectica se impune gândirii umane.

EDMOND NICOLAU

Prefaţă

În lucrarea de fată sunt reunite articole sau dis

* w 1 w cursuri pe care am avut ocazia să le scriu sau să le ţin în ultimii ani. Cele cu care se deschide volumul se referă toate, mai mult sau mai puţin direct, ia cercetările pe care le-am efectuat în cursul acestei perioa. Pe, şi anume la acelea care tind să reformeze interpretarea actualmente admisă a mecanicii ondulatorii şi a fizicii cuantice despre care am vorbit deja în cartea mea apăruta în aceeaşi colecţie, „Perspective noi în microfizica”. Am împărţit aceste expuneri în două serii. Prima serie cuprinde articole cu caracter general, destul de uşoare ca lectură, în care ideile care mă călăuzesc actualmente sunt prezentate mai întâi sub o formă personala, apoi într-o manieră mai obiectiva. Seria a doua grupează, pe lângă câteva puneri la punct ale unor probleme particulare, expunerea în două articole, urmate, fiecare, de reproducerea unei note apărute în dările de seamă ale Academiei de Ştiinţe, mai întâi a modului meu actual de a concepe coexistenţa undelor şi corpusculilor în structura luminii şi a altor radiaţii electromagnetice, apoi a unei ramuri cu totul noi a termodinamicii pe care o elaborez de cinci ani şi pe care o putem numi „Termodinamica ascunsa a particulelor”.

Ceea ce caracterizează eseurile de care am vorbit este faptul că se inspiră direct din profundele observaţii ale lui Albert Einstein, făcute mai ales la începutul carierei sale, asupra coexistenţei undelor şi particulelor, coexistenţă pe care a descoperit-o în 1905 în cazul luminii

şi pe care eu am generalizat-o, cu aproape douăzeci de ani mai târziu, la toate particulele, în lucrările mele de bază asupra mecanicii ondulatorii.

În 1905, la vârsta de 26 de ani, Einstein, într-un foc de artificii intelec tual fără îndoială unic în istoria ştiinţelor, a pus bazele, aproape simultan, ale celebrei teorii a relativităţii, ale concepţiei dualiste a luminii precum şi ale formelor noi ale termodinamicii statistice, care i-au permis să dezvolte frumoasele interprt ţări date de el fenomenelor de fluctuatie şi mişcării browniene. Dacă teoria relativităţii sub forma ei restrânsă şi sub forma ei generalizată a fost, pe drept, obiectul a numeroase lucrări, memoriile atât de importante pe care, în decurs de peste douăzeci de ani, Einstein le-a consacrat cuantelor de lumină („fotonii" noştri de azi) şi fluctuaţiilor termodinamice sunt în mare parte cam prea mult date uitării astăzi. În ceea ce priveşte observaţiile, din păcate de natură exclusiv critică, făcute de Einstein în cursul i i i ultimilor treizeci de ani ai vieţii sale asupra în terA»

pretării fizicii cuantice, marea lor importanţă a fost, cred, în genere subestimată, dar eu n-am încetat în ultimii cincisprezece ani să meditez asupra lor.

De altfel, este curios de observat că încercarea mea de a elabora o termodinamică ascunsă a particulelor. care are drept cel mai frapant rezultat readucerea principiului minimei acţiuni la principiul al doilea al termod inamicii, se sprijină pe trei baze esenţiale. Mai întâi, firește, e coexistenţa undelor şi particulelor în ce priveşte lumina şi materia interpretată pe baza vechilor inele idei asupra „teoriei dublei soluţii" 6; apoi sunt principiile generale ale teoriei re lat ivi la ţii şi anume faimosul i A * * W

principiu al inerţiei energiei şi forma relativista a termodinamicii; în sfârşit, intervenţia metodelor introduse recent de Einstein în termodinamica statistica şi previziunea fenomenelor de fluctuaţie ce decurg de aici. Ast fel în acest eseu intervin concomi tint cele trei idei fundamentale generate aproape simultan de creierul puternic al celui mai mare fizician-teoretician al secolului

nostru. Şi este, desigur, regretabil că Einstein nu mai e printre noi pentru a aprecia această sinteza destul de surprinzătoare a celor trei ramuri noi ale teoriei fizicii pe „care el le-a introdus exact acum şaizeci de ani.

În sfârşit, în partea a treia a lucrării de faţa se vor găsi reunite câteva discursuri sau note compuse la diverse ocazii şi având adesea caracterul unei biografii. Cum majoritatea acestor texte sunt mai uşor de citit decât cele precedente, ele au fost plasate la finele volumului pentru a nu impune cititorului un f fort prea pro lungit.

LOUIS DE BROGLIE

decembrie 1965

Articole cu caracter general

ANXIETATE MEA ÎN FAŢA PROBLEMEI CUANTELOR[12] f

Aveam 19 ani când am simţit în mine o vocaţie pentru fizica teoretică. După ce am trecut prima parte a bacalaureatului în latină-ştiinţe, apoi partea a doua în matematici şi filosofie, atras de studiul istoriei, de care nu am încetat niciodată să mă interesez, am pregătit şi am obţinut la 18 ani licenţa în istorie la Sorbona. Am început apoi să studiez dreptul, dar tocmai atunci lectura diferitelor lucrări, şi anume cele ale lui Henri Poincaré, m-a readus spre ştiinţa.

M-am apucat aşadar să mă pregătesc pentru licenţa în ştiinţe care se obţinea atunci după trecerea unei serii de examene succesive, dar orientarea mea s-a precizat chiar din acea epocă. Fratele meu Maurice, încă tânăr om de ştiinţă, a fost însărcinat să redacteze procesele-verbale ale primului Consiliu Solvay, care s-a ţinut la Bruxelles în octombrie 1911. Acest consiliu era consacrat studiului teoriei cuantelor şi la el au luat parte cei mai

l* i în „1

mari savanţi ai epocii din domeniul fizicu matematice, ca Max Planck, Einstein, Henri Poincaré, Lorentz şi alţii. Curând după aceasta, fratele meu îmi comunica ei ornele proceselor-verbale pe care le

12 Text scris în vara anului 1961.

redactează. Citesc cu entuziasm aceste texte dificile, descopăr în ele importanţa acestei noi teorii a cuantelor pe care Planck, într-o străfulgerare de geniu, o introdusese în 1900 şi pe care Einstein o extinsese sub o formă nouă în teoria sa despre cuantele de lumină. Sensul ad în o al acestei mari revoluţii a fizicii teoretice îmi apare clar: ea înseamnă că imaginile de unde şi de corpusculi, folosite până atunci de teoreticienii fizicii în diferite domenii, undele pentru reprezentarea luminii şi radiaţiilor, corpusculii pentru cea a materiei şi structurii sale, trebuie să intervină în realitate amândouă în toate domeniile. Dar cum se poate realiza o astfel de sinteză în care trebuie să intervină fără nicio îndoială aceasta misterioasă „constantă a lui Planck" care astăzi, după o juinătate de secol, nu şi-a dezvăluit încă secretul? Or, deja unele observaţii îmi reţin atenţia: încă de pe la mijlocul secolului al XI X-lea Hamilton, apoi Jacobi au observat o anumită analogie între legile mecanicii care guvernează mişcarea corpusculilor şi legile teoriei undelor care determină propagarea radiaţiilor. Se admitea, în general, că aceasta analogie era pur formală, dar tânăra mea imaginaţie a intrat în acţiune şi am început să mă întreb dacă aceasta analogie nu are un sens fizic profund, dacă ea nu este susceptibilă să ne conducă spre acea sinteză a imaginilor de undă şi de corpuscul, a cărei n? cesi Late mi se pare a o arăta a pariţia în fizică a misterioaselor cuante. Şi astfel, odată licenţa în ştiinţe obţinută, mă hotărăsc să mă consacru» i /

studiului acestei probleme.

Dar în acea vreme, în 1913, nu eram decât un adolescent plăpând al cărui viitor se afla încă în 111 înile zeilor. În octombrie plec să-mi fac serviciul militar în compania de radiotelegrafişti a regimentului 8 geniu. Apoi izbucneşte războiul din 1914 şi astfel, timp de şase ani, părăsind aproape complet proiectele mele de studii privind cuantele, undele şi corpusculii, sunt obligat să mă consacru tehnicii radiotelegrafiei. Or, această tehnica trecea atunci printr-o evoluţie rapidă şi hotărâtoare; încă embrionară în 1914, ea se transforma radical în câţiva ani

prin introducerea lămpilor triode care vor permite în curând realizarea radiotelefonici şi apoi a radiodifuziunii, aşa cum o cunoaştem astăzi. Asistând astfel la naşterea acestor forme noi de telecomunicaţii, eu nu am încetat, de atunci, să mă interesez de dezvoltarea lor, şi anume de douăzeci de ani, de progresul tehnicilor noi ale radarului, hiperfrecvenţelor şi tranzistorilor.

După terminarea războiului din 1914 am revenit să lucrez în laboratorul fratelui meu, pe atunci orientat în principal spre studiul razelor X şi al efectului fotoelectric şi, întorcându-mă astfel la preocupările mele din prim a tinereţe, m-am regăsit în faţa acelei probleme a undelor şi corpusculilor pe care e în Lâlnim la fiecare pas în chestiunile privind radiaţiile de foarte înaltă frecvenţa. Am fiectat îndelung asupra acestei probleme şi, după diverse studii preliminare, am ajuns în câteva note din toamna anului 1923, apoi, mai detaliat, în teza mea de doctorat, susţinută în noiembrie 1924, la stabilirea unei corelaţii precise între mişcarea unui corpuscul şi propagarea unei unde în care intervine constanta lui Planck şi am reuşit să demonstrez că această corelaţie permite să se înţeleagă multe lucruri rămase până atunci foarte misterioase, de exemplu existenţa stărilor staţionare în atomi. Ideile pe care le-am emis atunci au avut foarte rapid un succes la care nu îndrăzneam să mă aştept. Dezvoltate matematic de Schrödinger în 1926, confirmate experimental de descoperirea fenomenului remarcabil al difracţiei electronilor

11

În 1927, ele stau la baza a ceea ce se numeşte astăzi mecanica ondulatorie şi la originea a nenumărate alte dezvoltări diverse.

Dar, în timp ce toată aceasta mişcare de idei începea să se desfăşoare cu o viteză rapid accelerată, personal rămâneam oarecum perplex. Când ideile de bază ale mecanicii ondulatorii mi-au apărut în minte, nu m-am îndoit nicio clipă că ele trebuiau să conducă, în cele din urmă, la o imagine clară şi sintetica a asocierii undelor şi

corpusculilor, respectând ceea ce era esenţial în noţiunile clasice despre aceste entităţi. Iar în timp ce în străinătate savanţi eminenţi ca Bohr, Born şi y» 7»

Heisenberg se angajau pe o cu tolu\ altă cale, car. * îi ducea la o interpretare cu totul diferită a dualităţii undelor şi corpusculilor decât aceea pe care o căutam, eu ajunsesem la o concepţie care mi-a fost inspirată, mai mult sau mai puţin conştient, de profundele observaţii făcute de Einstein asupra acestei chestiuni. În 1926 – 1927 am dezvoltat această interpretare a mecanicii ondulatorii sub denumirea de „teoria dublei soluţii”. Fără a intra în amănunte prea complicate, voi spune doar că ea consta în a admite că orice corpuscul, element al materiei sau foton de lumină, constituie un fel de singularitate în sânul unei unde extinse în care e încorporat şi care ghidează mişcarea sa fiindcă e 1 este soli dar cu aceas la undă. Imaginea astă 1 obţinută mi se părea satisfăcătoare, deoarece ea reprezenta în mod clar şi precis asocierea undelor şi a corpusculilor în fizica la scară atomică. Rămâne: a însă de interpretat rolul undei considerate în mod obişnuit în mecanica ondulatorie, undă care 7 e omogenă şi nu conţine nicio singularitate care

O f 9 O

să permită localizarea în ea a unui corpuscul. Credeam că voi realiza aceasta demonstrând că unda continuă a mecanicii ondulatorii este o undă fictivă, care reprezintă statistic diversele posibilităţi de localizare a corpusculului: credeam că această reprezentare era exactă, dar că, aşa cum sunt toate reprezentările statistice, era incompletă, deoarece lăsa să-i scape individul pentru a nu descrie decât situaţia medie. Astfel, în concepţia mea, oricărei rezolvări uzuale a ecuaţiilor de unde ale mecanicii ondula lorii care oferă doar o descriere statistică trebuia să-i corespundă o altă soluţie, compor-tând o singularitate şi reprezentând adevărata asociere a undei şi a corpusculului în realitatea fizică profundă. De aici şi denumirea de teorie a dublei soluţii pe care am dat-o încercării mele.

Concepţiei pe care o sus ţineam îi lipsea însă o justificare matematică completă: îi lipseau, de asemenea, am recunoscut-o în ultimii ani, anumite elemente esenţiale fără de care ea nu pute a fi citus i de put în viabilă. În fat a dificultăţilor întâlnite pentru a da ideilor mele o formă într-adevăr satisfăcătoare şi în urma întrunirii la Bruxelles, în octombrie 1927, a celui de-al V-lea Consiliu de fizică Solvay, la care interpretarea pur probabilistă a mecanicii ondulatorii susţinută de Bohr, Born şi Heisenberg a biruit, în ciuda obiecţiilor lui Einstein şi Schrödinger, am fost determinat să-mi întrerup eforturile pentru a găsi o altă formă. De ce am fost oare atunci aşa de descuraj at şi am încetat să-mi urmăresc scopul la care ţineam atâta, acela de a obţine o imagine precisă a universului microfizic realizând o veritabilă sinteză care să permită o înţelegere clară a coexistenţei undelor şi i-o i)

corpusculilor? Un prim motiv a fost, evident, că încercarea pe care o întreprinsesem cerea, eram conştient de acest lucru, rezolvarea unor probleme extrem de grele în faţa cărora mă simţeam dezarmat, în timp ce teoria adversă se prezenta ca un edificiu matematic deja foarte elegant şi foarte riguros, aşezat pe baze relativ simple şi care permitea, aşa cum o demonstra în fiecare zi tot mai mult experienţa, prevederea sau explicarea unor fenomene importante. Un alt motiv al renunţării mele, mai curios poate din punct de vedere psihologic, a fost următorul: chiar în momentul când îmi dădeam seama, în 1928, de dificultatea de a continua efortul meu de interpretare, intrasem în învăţământul superior, ca profesor însărcinat cu predarea teoriilor fizicii la facultatea de ştiinţe din Pari: –;

1

şi mă aflam astfel în faţa unei sarcini cu totul noi pentru mine, sarcină pe care o îndeplinesc de trei-l 1 A

zeci şi trei de ani şi pe care, ajuns la vârsta pensionării, o voi părăsi fără îndoială anul viitor. Or, învăţământul obligă ca lucrurile pe care le expunem să fie prezentate într-o formă coerentă, iar când e vorba de fizica

teoretică, să fie matematic corectă; el mai cere, la nivelul facultăţilor, ca elevii să fie ţinuţi la curent cu cele mai recente progrese şi cu rezultatele cele mai instructive. Nu ne putem deci mulţumi cu intuiţii care nu au căpătat o formă definitivă sau cu teorii de abia schiţate.

Acestea sunt motivele pentru care, cel puţin într-o
www.w A w. w A 1
anumită măsura, se poate spune ca învăţământul se abate uneori de la cercetare.

Iată-mă aşadar, la 36 de ani, profesor care ţine cursuri şi începe să formeze elevi. Am început aceasta carieră sub cele mai strălucite auspicii, deoarece abia împlinisem un an vechime în noua mea profesie când Academia de Ştiinţe din Suedia mi-a decernat Premiul Nobel pentru fizică. Această înaltă distincţie arăta valoarea ce era acordată în cercurile ştiinţifice ideilor pe care le introdusesem cu privire la asocierea undelor şi corpusculilor, atât de strălucit confirmate de importantele succese ale mecanicii ondulatorii şi de recenta descoperire fundamentală a fenomenului difracţiei electronilor de către cristale.

Nu este locul să redau aici pe scurt activitatea mea în învăţământul superior în decurs de peste 30 de ani, cursurile pe care le-am ţinut pentru a expune principiile, dezvoltările şi aplicaţiile mecanicii ondulatorii, lucrările personale efectuate pentru a ameliora unele din aceste teorii sau n introduce în ele câteva idei noi, expunerile sau conferinţele pe care le-am consacrat difuzării unor aspecte noi ale fizicii cuantice. Singurul lucru pe care aş vrea să-l menţionez aici este că, până în 1950, nu am revenit la încercările de interpretare pe care le întreprinsesem odinioară, apoi le abandonasem, şi că m-am ţinut de interpretarea pur probabilistă a lui Bohr, Born şi Heisenberg, adopta la de majoritatea fizicienilor. În 1950 însă, aş spune aproape spre propria-mi uimire, am ajuns să mă întreb dacă această interpretare a mecanicii ondulatorii şi a fizicii cuantice era realmente satisfăcătoare

şi dacă, pentru a găsi o adevăra tă explicaţie a asocierii undelor şi corpusculilor, nu ar trebui să revin într-un fel la concepţiile mele din tinereţe. Aş vrea acum să spun câteva cuvinte despre acest nou reviriment al gândirii melc.

Pentru a-i face înţeleasă originea, ar trebui mai întâi explicat ce înseamnă exact această interpretare pur probabilistă a fizicii cuantice adoptată de majoritatea fizicienilor. E însă un lucru greu de făcut, deoarece această în t erpre t are a fost prezentat a destul de diferit de către diverşi autori şi deoarece, prin însăşi natura sa, ea este destul de vagă şi destul de surprinzătoare pentru spiritele neavertizate. Nu pot deci să dau aici despre ea decât o idee foarte sumară. Această interpretare se bazează

A * 1 * * *

pe câteva idei noi, care par importante şi exacte.

Astfel, de exemplu, pare cert că orice experienţă de măsurare având ca obiect să ne dea o informat le asupra universului microfizic modifică, în general, într-un mod deloc neglijabil, starea de lucruri existentă anterior şi, corelativ, poate apărea ca imposibil să măsurăm simultan cu precizie anumite mărimi ce caracterizează corpusculii, cum sunt poziţia lor şi stare a lor de mişcare. Această imposibilitate este exprimată prin faimoasele „relaţii de incertitudineale lui Heisenberg, a căror exactitate este neîndoielnică. Pornind însă de la aceste observaţii exacte, teoriile astăzi admise, w 1 P W W 1. w care se sprijină, adeseori fără discuţie critica, pe un anumit număr de postulate, poate contestabile şi care capătă progresiv forme din ce în ce mai abstracte, au izbutit în mod destul de paradoxal să suprime orice realitate fizică, atât a undelor cât şi a corpusculilor. Unda nu mai e decât o formă matematică servind la evaluarea probabilităţilor, pe când corpusculul, răspândit în general „în stare potenţială" într-o regiune întinsă a spaţiului, pare să nu mai existe decât atunci când se manifestă prin fugitive localizări observabile. Pentru a caracteriza această concepţie greu de precizat, Bohr a găsit odată un cuvânt care s-a impus: el a spus că unda şi corpusculul sunt aspecte

„complementare” ale realităţii, cu alte cuvinte că ele sunt ima

9 7

gini incompatibile, dar a căror intervenţie succesivă este necesară pentru a reprezenta ansamblul fenomenelor observate. Dacă folosirea cuvântului „complementaritateserveşte numai pentru a traduce apariţia succesivă de aparenţe corpusculare şi ondula Lorii în fenomene incontes Labile, această folosire este cu totul legi tinia, în schimb ea nu constituie nicidecum o explicaţie reală a dualităţii undelor şi corpusculilor. Complementaritatea poate fi comparată cu „virtutea dormitivă” a opiului de car şi-a bătut joc Molière: este perfect legitim să tra lucem proprietăţile soporifice ale opiului atribuind acestei substanţe o „virtute dormitivă”, dar trebuie să ne ferim a vedea în aceste cuvinte o explicaţie a acestor proprietăţi. Pe complementaritatea lui Bohr şi pe extensiunile riscate ale relaţiilor de incertitudine s-a căutat fundarea a tot felul de consideraţiuni filosofice despre care ceea ce se poate spune în cel mai bun caz e că sunt periculoase. Unii sunt adesea prea tentaţi să construiască teorii filosofice generale pe datele, întotdeauna susceptibile de a fi revizuite, ale cunoaşterii’s dintifice.

Deci, de aproape zece ani, mă tot întreb dacă interpretarea actualmente admisă a mecanicii ondulatorii este într-adevăr definitivă şi dacă, dincolo de succesele sale certe şi de rigoarea sa aparentă, ea nu ne ascunde adevărata natură profundă a coexistenţei undelor şi corpusculilor. Nu e vorba, bineînţeles, de a contesta valoarea statistică a formalismelor elegante şi precise cu

w! % – care jonglează teoreticienii iizicii cuantice contemporane, ci de a ne întreba dacă aceste formalisnie ating într-adevăr fondul lucrurilor şi dacă interpretarea propusă de ei are un caracter definitiv. Fiind nevoit să urmăresc îndeaproape formularea ipotezelor care servesc ca baze pentru interpretările actuale, am putut să le supun unei critici serioase: am putut astfel să găsesc, în toată

această construcţie, unele puncte slabe, unele consecinţe paradoxale şi să notez câteva postulate care, deşi au fost firesc sugerate de formalismul matematic, nu corespund poate realităţii fizice. Aşa că am fost determinat să reiau concepţiile pe care le dezvoltasem cu treizeci de ani în urmă: de altfel am fost nevoit să le aduc un anumit nuniăr de modificări şi unele adăugiri care mi se par acum indispensabile. În ult i ni îi zece ani sau re ali 7. a t progrese în această re interpret arc a inc cani cu ondula t ori i, orizonturi noi de un foarte mare interes s-au deschis în faţa ochi 1 or mei. Am fost serios ajutat în această muncă de câţiva cercetători tineri care au avut îndrăzneala de a se lansa pe această cale: spun îndrăzneală, deoarece trebuie curaj pentru a înfrunta un curent de idei predominant şi a te pune astfel în opoziţie cu maeştri eminenţi sau influenţi. Personal nu am. consacrat decât eforturi destul de limitate acestei sarcini anevoioase. La vârsta mea, şi m şi tu a ţi-a mea, eşti copie şi it de diverse obligaţii şi devine aproape imposibil să-ţi păstrezi timpul şi forţele necesare pentru a urmări eu continui la te lucrări personale grele.

Mă găsesc deci astăzi într-o poziţie destul de curioasă. Am fost, acum aproape 40 de ani, unul dintre iniţiatorii mecanici ondulatorii şi ai fizicii cuantice contemporane. Am fost martor, nu fără oarecare surpriză, al succesului extrem de rapid al concepţiilor mele, al strălucitei lor verificări experimentale şi al prodigioaselor dezvoltări pe care le-au avut în cele mai diverse domenii. Şi totuşi, nu sunt mulţumit. În primăvara vieţii mele am fost obsedat de problema cuantelor şi ac o existenţei undelor şi corpusculilor în universul micr-ofizic: am făcut eforturi decisive, dar totuşi incomplete, pentru a-i găsi soluţia. Astăzi, în toamna existenţei mele, aceeaşi problemă continuă să mă preocupe, deoarece, în ciuda atâtor succese obţinute şi a drumului parcurs, nu cred că enigma a fost într-adevăr rezolvată. Viitorul, un viitor pe care fără îndoială nu-l voi vedea, va tranşa poate chestiunea: el va spune dacă punctul meu de vedere actual

este eroarea unui om ajuns la o vârs tă destul de înaint aţă care rămâne le gât de ideile sale din tinereţe sau dacă, dimpotrivă, el exprimă clari ziunea unui cercetător care a reflectat în decursul întregii sale vieţi asupra problemei celei mai fundamentale a fizicii contemporane.

REPREZENTĂRILE CONCRETE ÎN MICROFIZICĂ

Imaginile feorefice ale fizicii clasice

Teoriile fizicii clasice s-au dezvoltat admiţând realitatea universului fizic şi căutând să obţină despre el reprezentări concrete. Bineînţeles, ele nu pierdeau din vedere faptul că omul de ştiinţă, observând universul fizic şi măsurând mărimile a căror cunoaştere este necesară pentru precizarea imaginii pe care el şi-o face despre acesta, poate foarte bine să perturbe starea de lucruri existentă înaintea observaţiilor sau măsurătorilor sale, dar ele nu conţineau nimic care să pară a prejudicia ideea că în fiecare clipă există o realitate fizică bine determinată, exterioară oamenilor care o observă. Reprezentările teoretice obţinute se exprimau, de la începuturile ştiinţei moderne, în limbajul precis al matematicilor: evident, acest limbaj are, prin însăşi natura sa, ceva abstract şi formal, dar majoritatea fizicienilor nu puneau la îndoială caracterul concret al universului fizic ale cărui formule matematice nu aveau ca scop decât să dea o descriere mai mult sau mai puţin exactă.

Un alt caracter al teoriilor fizicii clasice era că ele căutau să dea o descriere a realităţii fizice şi să urmărească evoluţia ei servindu-se întotdeauna de cadrul spaţiului şi al timpului, datul prim al vieţii noastre cotidiene, şi stabilind o legătură cauzală între fenomenele succesive. Pentru a ilustra aceasta prin două exemple care vor iuoa un mare

1 A 1 w w f 1 w rol în cele ce urmează vom aminti că nzica clasică îşi reprezintă întotdeauna un corpu scul ca un mic obiect localizat în spaţiul care descrie o traiectorie în cursul timpului cu o viteză bine definită în fiecare clipă şi că această traiectorie reprezintă o undă cu ajutorul unui „câmp” de mărimi, de valori bine definite în fiecare p un et

şi în fie e are moment, care se propagă în spaţiu în cursul timpului conform unor legi matematic precise. În fine, ansamblul evoluţiei universului fizic era descris cu ajutorul unor ecuaţii diferenţiale şi cu derivate parţiale care stabileau o legătură cauzală între stările succesive ale universului fizic fiindcă ele determinau starea existentă într-un anumit moment în funct i e de starea care exista în starea imediat anterioară.

Aceste metode tradiţionale ale fizicii clasice repurtaseră mereu mari succese şi lor li se datorează toate pro gre’s ele fizicii moderne începând din secolul al XVI-lea până la începutul secolului al XX-lea. Apariţia concepţiilor teoriei relativităţii, din 1905, cu toate că această teorie a dus la stabilirea între spaţiu şi timp a unei legături până atunci nebănuite şi a a dus multesc hi mbăr i ale pu ne te l or de vedere, nu a modificat nimic e esenţial în spiritul metodelor folosite până atunci de fizica teoretică. Pentru fiecare observator galileian care foloseşte sp a ţiul şi timpul său propriu, descrierea fenomenelor rămâne conformă tipului clasic. În spaţiul-timp, existenţa întreagă a unui e orp u scul va fi reprezentată printr-un tub de univers infinit de fin care exprimă totodată caracterul foarte localizat al e o r – pusculului pentru fiecare observator şi deplasarea sa în decursul timpului de-a lungul unei traiectorii pe care el are, în fiece moment, o viteză bine de te r – minată. Tot astfel o undă va fi reprezentată în sp aţiul-l imp printr-un e împ de mărimi b în e definite în fiecare punct care, pentru fiecare observator, va apărea ca un fenomen ondulatoriu ce se pro p a gă în se a ţiu în cursul timpului conform unei legi determinate. Ş i-a’s tf el teoria relativităţi i regăseşte, pentru a reprezenta evoluţia universului fizic, un formalism matematic care st

baz-ază în esmtă p? reuntii diferenţiale sau cu derivate parţiale analoage ace lora pe care le folosea fizica anterioară.

Se ştie crt, la sfârşitul secolului al XIX-lea, fizica

clasică, obligată să ţină cont de structura atomică a materiei, a trebuit să construiască teorii statistice care recurgeau] a intervenţia calculului probabilităţilor. Cum n putut ca să o facă păstrând caracterul cauzal al înlănţuirii fenomenelor şi ideea ca mărimile fizice au în totdeauna o valoare bine determinată? Aceasta e o întrebare foarte importantă pentru cele ce urmează şi asupra căreia, din acest motiv, trebuie să ne oprim câteva clipe.

Apariţia probabilităţilor în fizica teoretică era considerată, foarte firesc, ca rezultând dintr-o ignorare parţială a stării, presupusă totdeauna bine determinată, a universului fizic. Spun „ignorare parţială", deoarece, dacă ignoranţ n noastră ar fi totală, nu am putea introduce nicio lege utilizabilă de probabilitate, iar dacă ignoranţa noastră ar fi nulă, am avea certitudine şi nu probabilitate. Introducerea unei legi de probabilitate atrage după sân° incertitudini şi aceste incertitudini sunt cu atât mai mari cu cât ignoranta noastră este mai mare.

D *

Dar aceste incertitudini, şi aceasta caracterizează în esenţă punctul de vedere clasic. nu corespund deloc unei nedeterminări veritabile a stării universului fizic, stare presupusă a exista şi a fi bine definită chiar atunci când ignorăm parţial detaliile ei. Ca exemplu simplu, putem considera teoria cinetică a gazelor sub forma ei clasică. En admite că fiecare mo\< culă a unui gaz posedă în fir care moment o poziţie: – i o viteză bine determinate, dar mrrcu variabile într-o manieră extrem de complicată din cauza e menirilor particulelor între pif şi dr pereţii rrcipintului care conţine gazul. Ca urmare, noi ignorăm în fiecare moment poziţia şi starea de mişcare a moleculelor: totuşi ignoranţa noastră asupra stării gazului nu este completă, fiindcă ştim că o moleculă oarecare a gazului este neapărat prezentă în vasul ce conţint! acest gaz şi că, spre exemplu, acest vas este menţinut, prin contact termic cu un termoslat, la o Icmpej'atură determinată. Vedeni, într-adevăr, că probabilităţile se introduc aici ca urmare a ignorau tei nnastre asupra stării exacte a gazului care este

parţial necunoscută.

Considerarea cilur\ a mărimi care au valori ale aurii conduce la o schi mă statistică foarte cunoscută. În aceas la schemă se introd i ice, pentru fiecare mărime aleatorie, o re parţi ţie de probabilităţi val abile atunci când nu se şi t i e ni ni i e despre valo are a celorlalte mărimi aleatorii: se introduc, de asemenea, pentru fiecare mărime probabilităţi „legate", exprimând probabilitatea unei valori a mărimii, a 1 unei când valorile celorlalte mărimi aleatorii sunt cunoscute. Această schemă clasică şi formulele care o exprimă se deduc cu uşurinţă din următoarea i poteză care, în cadrul ideilor clasice, apare ca foarte naturală: statistica se referă la o mulţime de indivizi, iar pt n tru fit care dintre aceştia valorile mJ.rimilor aleatorii sunt bine determinate. Să ilustrăm aceasta printr-un ext mplu foarte simplu. Într-un contingent de tineri recruţi fiecare recrut are talie şi o circumferinţă a pieptului ce pot fi măsurate: pentru ansamblul contingentului se poate's stabili o schemJ. statistică privind taliile şi circumferinţele piept ului eu repartiţia de probabilităţi şi repartiţia probabilităţilor legate pentru ac.: >al p două mărimi. Imposibilitate a de a întocmi o astfel de schemă statistică ar fi foarte greu de interpretat, deoarece că ar fi în opoziţie cu caracterul concret al realităţii fizice.

Să insistăm asupra unui alt punct foarte important. Concepţia clasică a probabilităţii conduce la distingerea foarte clară a „probabilităţilor actu a le „de „probabilităţile prevăzute". Probabilităţile actuale se referă la o situaţie pe care o ignorăm parţial, dar care ce te actualmt n te realizată. Probabilităţile prevăzute se referă la o situaţie ce ar pu/ea îi realizată după o anumită modificare a situaţiei actuale. Un exemplu va preciza aceasta. Un om are în faţă o ruletă (în sensul de ruletă de joc) care comportă un număr egal de pătrăţele roşii şi pătrăţele negre şi care se învârteşte.

Ştim că acest om are o bilă într-una din mâinile sale, dar nu ştim în care din ele. Această necunoaştere introduce pentru poziţia bilei o probabilitate care, în situa

11 a actuală, are următoarele
e 7
valori.
». 1.
mâna dreaptă a omului pătrăţelul roşu al ruletei O
2
(A). i stânrră tt negru M O
2
Dacă omul ar lansa bila pe ruletă şi bila s-ar opri în cele din urmă pe un pătrăţe la cărui culoare nu am remarcat-o încă, probabilitate a pentru poziţia bilei ar capăt a următoarele valori?
…1
mâna dreaptă a omului O; pătrăţelul roşu al ruletei – 2
M stângă „O; „negru – 2
Dar, atâta timp cât omul păstrează bila în mâna sa, repartiţia (a) a probabilităţilor este „actuală”, pe când a doua (B) nu e decât „prevăzută” şi poate să nu devină niciodată actuală.
Acestea sunt observaţii foarte simple, dar utilitatea lor va apărea atunci când vom analiza principiile micronzicii cuantice.
Ne v-n opri aici cu această analiză foarte sumară a metodelor şi a modurilor de reprezentări ale fizicii clasice. Chiar cei care astăzi consideră că aceste reprezentări sunt în întregime perimate trebuie să recunoască că ele erau foarte clare şi posedau un grad înalt de raţionalitate.
Răsturnarea determinată de progresele microfizicii în reprezentările fizicii teoretice
Nu e locul să expunem aici originile microfizicii. Vom reaminti numai că ea a avut ca punct de plecare descoperirea structurii discontinue a mă
36
teriei, adică a existenţei moleculelor, atomilor, electronilor etc. O remarcă importantă ce trebuie făcută în această privinţă este că particulele materiei nu sunt niciodată observabile direct: noi nu put în dovedi existenţa

lor decât observând un fenomen macroscopic (cum sunt: înnegrire a locală a unei plăci fotografice, formarea unei picături lichide într-o cameră Wilson etc.) declanşat prin acţiune a particulci.

La începutul dezvoltării microfizicii, această ştiinţă nouă şi-a construit primele reprezentări teoretice cu ajutorul concepţiilor fizicii clasice, şi în special cea de corpuscul bine localizat care descrie o traiectorie bine definită. Destul de curând însă, ea s-a izbit pe acest drum de foarte mari greutăţi. Descoperirea rolului esenţial pe care îl joacă constanta lui Planck în constituirea sistemelor la scară atomică şi în schimburile de energie între materie şi radiaţie a arătat existenţa la scări foarte mici a unor procese în aparenţă complet discontinui, de un tip cu totul străin concepţiilor clasice. În afară de aceasta, descoperirea ulterioară a asocierii permanente a corpusculilor şi undelor, realizată mai întâi în cazul luminii de către Einstein (teoria fotonilor), apoi generalizată, după vreo 20 de ani, de mecanica ondulatorie pentru toţi corpusculii materiali, a pus, în condiţii foarte grele, o problemă de o însemnătate fundamentală. Dornic să păstreze, în liniile lor mari, concepţiile clasice din cauza clarităţii şi raţionalităţii lor, autorul articolului de faţă a încercat, între anii 1924

şi 1927, o interpretare a mecanicii ondulatorii în care corpusculul era conceput ca un fel de singularitate încorporată unei unde a cărei mişcare ar fi legată de propagarea undei printr-o relaţie în care intervine constanta lui Planck. Din nefericire, această încercare, extrem de atrăgătoare prin imaginea precisă a dualismului undă-corpuscul pe care o dădea, s-a izbit de la început de greutăţi ce păreau de netrecut. Majoritatea fizicienilor teoreticieni au preferat să se orienteze într-o direcţie cu totul diferită şi să adopte concepţii care, renunţând la orice reprezentare concretă a realităţii

microfizice, se abat considerabil de] a acelea ale n

»

Icii clasice.

Nu putem expune aici în amănunt această interpretare adu al me n te „ortodoxă” a microfizici i cuantice: nu putem expune decât câteva a – peste ale ei. Una din conspeinţele cele mai importante ale ei este abandonarea, pentru reprezentarea IVnoniei fi * * * i * *

nelor micronzice, a miagin llor precise şi conen tf”.

În cadrul spaţiului şi timpului (şi a spaţiului-timp relativist): de aici rezultă dispariţia oricărei le g. lturi cauzale stricte între evenimentele succesive, deoart: ce existenţa unei as! fel Je 1 legături cauza le în p Licâ o conexiune strânsă a celor ce se petr (e în diversele puncte ale spaţiu 1 ui în cursul timpului.

Abandonarea unei reprezentări concrete a realităţii microfizice în cadrul spaţiului şi timpulu i-a dus la o serie de consecinţe pe care fizicienii de acum o jumătate de secol le-ar fi găsit destul de paradoxale. Asife 1 corpusculii, a căror imagin suntem obligaţi să o păstrăm din cauza caracterului foarte localizat al manifestărilor lor, nu mai sunt conct: puţi ca nişte obiecte mici localizate în spaţiu: ei sunt, ni se spune, răspândiţi în general „în st are potenţială” în regiunea întinsă a spaţiului pe care o ocupă unda mecanicii ondulatorii. Dar această undă însăşi nu mai este considerată ca o realitate fizică ce e o re spun de repartiţiei e o n t şi nu e a unui „câmp” care se propagă în spaţiu în decursul timpului: (la un ar mai fi decât o reprezentare abstractă şi subiectivă a probabilităţilor manifestărilor corpusculului. Şi totuşi, ac, „) astă undă, într-un fi 1 pu r formală, ar fi su’s ce p tihil a să fi r o v o ac e a pari ţi-a unor fenomene de interferenţă şi de difracţie (care se obţin astăzi tot atât de bine cu electronii ca şi cu lumina) şi să determine, prin stările lor staţionare, în condiţii cu limite date, energiile stărilor cuantificate ale sistemelor atomice. De aici rezultă pentru unda mecanicii ondulatorii un caracter hibrid şi puţin comprehensibil, semisubiectiv şi semiobiectiv. Cei care predau mecanica ondulatorie sunt obligaţi să oscileze permanent între o

reprezentare concretă şi o concepţie abstractă a undei, ceea ce este puţin satisfăcător. În vechea mea încercare de interpretare am căutat să evit aceasta circumstanţă paradoxală deosebind două unde, două soluţii ale ecuaţiei de unde, una care să fie o reprezentare concretă şi obiectivă a undei e transportă un corpuscul care îi este încorporat, cealaltă care să aibă un caracter subiectiv şi care ar fi o reprezentare construită de cel ce o foloseşte după informaţiile pe care le posedă sub forma undei obiective: astfel 1 s-ar risipi misterul care înconjură şi astăzi natura veritabilă a undei mecanicii ondulatorii şi atunci se vede de ce am dat încercării mele de interpretare denumirea de „teorie a d ublei soluţii".

Aspectul oarecum fantomatic luat de undă şi de corpuscul în microfizica „ortodoxă" l-a condus odinioară pe Bohr să introducă noţiunea de „complementaritate". Această noţiune foarte evazivă eu greu poate fi bine definită. Se spune adesea că aspectul granular şi aspectul ondulatoriu al corpusculilor sunt aspecte complementare ale realităţii ce nu se manifestă niciodată simult an în experienţă. Cu această ultimă precizare, foula mi se pare inexactă. Într-adevăr, să considerăm o fotografie de franje de interferenţe obţinută cu fotoni sau cu e lectroni. Aspectul granular este prezent pe placa fotografică, fiindcă SP, ştir că imprimarea fotografică este produsă de incidenţa succesivă a corpusculilor ale căror impacturi pot fi descoperite în stra tul sensibil al plăcii; dar aspectul ondulatoriu este şi el prezent pe placă, fiindcă pe ea se conturează franjele. În timp ce impacturile cu caracter granular sunt fenomene de incidente individuale de

„9

proiectile, franjele de interferenţe rezultă dintr-o r, „partiţie statistică a acestor impacturi pe placa fotografică. Aspectul corpuscular şi cel ondulatoriu al fotonului sau al ele-etronului sunt deci observabile simultan pe placă, dar au semnificaţii cu totul diferite. Definiţia complementarităţii amintită mai sus nu este deci acceptabilă şi, după părerea mea, trebuie să ne mulţumim

să definim complementaritatea în felul următor: „Aspectul granular şi aspectul ondulatoriu al corpusculilor sunt complementare în sensul că este necesar să facem ca aceste două aspecte să intervină pentru interpretarea ansamblului proprietăţilor observabile ale corpusculilor”. Definită în acest fel prudent, complementaritatea nu e mai mult decât constatarea unui fapt: ea nu constituie deloc o explicaţie şi extrapolările care s-au făcut din această noţiune în afara domeniului microfizicii par extrem de periculoase.

Formalismul de obicei admis în mecanica ondulatorie conduce în mod firesc la relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg. Dacă x şi px sunt una din coordonatele unui corpuscul şi componenta corespunzătoare a cantităţii sale de mişcare, repartiţiile de probabilitate admise pentru x şi p: x: conduc la definirea pentru valorile acestor două mărimi a incertitudinilor Ax şi Apx şi se demonstrează că se obţine în ordinea de mărime inegalitatea:

Ax-Apx h în care h este constanta lui Planck. De aici se trage concluzia că cele două incertitudini nu pot fi nule în acelaşi timp şi că, dacă una ar fi nulă, cealaltă ar fi infinită. Ce înseamnă însă exact în inegalitatea precedentă simbolurile Ax şi Apx? Şi aici se pare că teoreticienii oscilează între două interpretări posibile. O primă interpretare este că Ar este incertitudinea asupra coordonatei x a viitoarei localizări observabile a corpusculului, pe când Apx este incertitudinea asupra rezultatului unei măsurări a lui px o altă interpretare este că Ar şi Ap* sunt incertitudini existente privind x şi px în starea considerată. Există o mare diferenţă între aceste două interpretări: a doua admite, într-adevăr, că, în starea considerată, incertitudinile Ax şi Ap: \: corespund unor probabilităţi actuale, pe când prima admite că cel puţin una din incertitudini, corespunde unei probabilităţi prevăzute care nu va deveni actuală decât după acţiunea dispozitivului de măsurare a lui pa. Se pare că majoritatea autorilor admit a doua interpretare şi consideră Ax şi Apx ca veritabile „nedeteinări” ale valorilor mărimilor x şi px:

corpusculul ar fi prezent potenţial în întregul interval Ax, iar valorile lui px ar o e upa potenţial în t regu 1 interval Ap – Prima interpretare pare însă mult mai justificată, mai ales într-o teorie în care se admite, pe drept, că orice experimţă de măsurare modifică în întregime şi luaţia iniţială, deoartee în acest caz cum putem admite că cele două incertitudini ar putea corespunde aceleiaşi situ a ţii?

Maniera uzuală de a interpreta relaţiile lui l-leisenberg, care mi se pare inexactă, l-a condus pe von Noumann să a f irm e, printr-un raţionament celebru, că este imposibil de a restabili o reprezentare concretă a realităţii microfizice prin introducerea unor „variabile ascunse e. Esenţialul ratio

77 99

namentului lui von Neumann poate fi rezumat astfel: dacă ar fi posibil să re stabilim o reprezentare concretă a realităţii microfizice, ar trebui să se poată defini stări în care toate incertitudinile ar fi nule; or, ace asta este imposibil fiindcă incertitudini ca Ax şi Apx nu pot fi simultan nule. Această concluzie nu este însă exactă decât dacă incertitudinile Ax şi Ap* ce figurează în inegalităţile lui Heisenberg sunt considerate ca raportându-se la aceeaşi situaţie. Dacă se admite, iar noi am văzu t că aceasta p are mult mai ustificat, că Ar şi Apx se raportează în mod necesar la situaţii diferite, atunci concluzia lui von Neumann nu se mai impune deloc.

Dacă examinăm cu atenţ le cum intervin probabilităţile în interpretarea „ortodoxă” a mecanicii ondulatorii, observăm că noţiunea de probabilita te] nu mai are aici deloc acelaşi sens ca în teoriile fizicii clasice. Introducerea probabilităţilor nu ar rezulta din faptul că nu cunoaştem o situaţie care ar exista şi ar fi integral d efinită, dar ale cărei t O /

detalii le-am ignora parţial. Ea ar r-i zulta dintr-o veritabilă nedeterminare a anumitor mărimi. Din acest punct de vede re nou ar decurge că schema’s la t is t i că clasică, despre care ani vorbit în a i înainte, nu ar mai fi valabilă. De altfel, nu s-ar mai putea stabili deosebirea, pe

care am precizat-o mai înainte, între probabilităţile actuale şi probabilităţile prevăzute (s i aceasta deşi teoria ortodoxă insistă în mod special asupra perturhării pe care orice operaţie de măsurare o introduce în mod inevitabil). Toate modificările pe care suntem astfel obligaţi să le introducem în ce priveşte probabilitatea, ni se par destul de obscure şi, în ansamblu, puţin satisfăcătoare.

l\u putem decât să semnalăm în treacăt câteva alte caracteristici singulare ale teoriei microfizice actuale. Pentru a p re v e de a statistic evoluţia unui şi ste în de corpuscul i în interacţiune, ea examinează propagarea uni unde în spaţiul configuraţiilor, acest’s p a ţiu fiind constit un prin defini ţie de... ansamblul coordonatelor corpu’s e ulilor sistemului. În ciuda succesului i neon t est abi l al aceste i metode de calcul, ea rămâne în mod curios paradoxală, deoarece e destul de greu de nu te l e’s ce p o t fi e o o r ci o n-a tele unor corpusculi care nu sunt permanent localizaţi în spaţiul fizic tridimensional; în afară de aceasta, propagarea unei unde în spaţiul configuraţiilor are un caracter atât de evident fictiv, încât este greu de crezut că ea poate realmente să guverneze fenomene fizice.

O altă caracteristică singulară a concepţiilor actuale este că ele se refuză oricărei descrieri a tranziţiilor cu an ti ce ai căror tip este tranziţia bruscă între stări staţionare în atomul lui Bohr. Dacă şi z ca clasică ar fi trebuit să examineze această problemă, că ar fi co nsidera t, desigur, tranz i ţi de cuantice ca stări tranzitorii de extrem de scurtă durată şi, din această cauză, fără îndoială neobservabile, dar care totuşi ar fi trebuit, în principiu, să poată fi descrise printr-o imagine concretă în se a ţiu şi timp. Or, Bohr a declarat cândva că aceste tranziţii cuantice „transcende-au” orice descriere în t rineni de spaţiu şi de timp, şi acest refuz de e; plica ţie, atât de contrar tendinţe lor tradiţionale ale ştiinţei, părea, în mod greşit desigur, să se impună cu necesitate.

Datorită lui Dirac, ecuaţiile de unde ale electropnului au luat o formă relativistă care conţine „spinul” acestui

corpuscul. Apoi s-a putut generaliza forma ecuaţiilor, astfel încât ele să se poată aplica unor particule cu spin mai mare decât acel al electronului. Toate aceste e cuaţii au fost interpretate într-un mod destul de abstract în cadrul formalismului uzual acceptat. Deşi spinul, de când a fost introdus în fizică de Uhlenbeck şi Goudsmit, a fost interpretat ca traducând un fel de rotaţie internă a particulei, respinge rea de către teoria actuală a oricărei imagini concrete în cadrul spaţiului şi timpului nu a permis precizarea acestei reprezentări a spinului. Este totuşi greu de a scăpa de imp resia că existenţa spinului ne dezvăluie analogi a dintre particulele elementare ale microfizicii şi micile turbioane.

Am rezumat unele aspecte ale microfizicii teoretice actuale. Cu toate criticile ce pot fi aduse unora din aceste concepţii, este incontestabil că ea a înregistrat mari succese. Ea s-a extins de câţiva ani prin dezvoltări teoretice noi, cunoscute sub denumirea de „teoria cuantică a câmpurilor”. Din cauza caracterului lor dificil, nu voi întreprinde nimic pentru a le rezuma. Voi spune numai că au accentuat şi mai mult caracterul foarte formal şi abstract al edificiului teoretic actual şi că au introdus alte noţiuni noi al căr () J sens exact e destul de greu sesizabil, cum e aceea de „particul a virtuală”. Teoria cuantică a câmpurilor a cunoscut succese la începuturile sale, dar s-a lovit de mari greutăţi, şi la ora actuală se poate avea impres i-a că fecunditatea ei s-a epuizat fiindcă s-a angajat prea mult în formalisme artificiale.

Rezumatul criticilor ce pot fi adresate concepţiilor actuale ale microfizicii

Dorim acum să rezumăm succint dificultăţile ridicate de forma actualmente ortodoxă a teoriilor microfizicii.

Mai întâi ele implică abandonarea completă a reprezentărilor concrete ale realităţii fizice la scară foarte mică. Ele tind astfel să abandoneze noţiunea de obiectivitate însăşi. „Atomul nu mai e decât un sistem de ecuaţii”, a spus odată un teoretician calificat. Acesta e un punct de vedere care, împins la extrem, se va întâlni cu

„idealismul” sau pozitivismul unor filosofi sub formele lor cele mai accentuate şi este destul de analog cu cel al „energetiştilor” care, la începutul secolului nostru, respingeau încă, contrar oricărei evidenţe, existenţa structurii atomice a materiei. Cred că pentru un fizician va fi întotdeauna foarte greu să admită că nu există o realitate fizică independentă de oamenii care o observă.

În concepţiile actuale se pot releva uşor multe contradicţii. Se resping imaginile concrete şi se folosesc mereu concepţiile deduse din aceste imagini, ca, de pildă: poziţia unui corpuscul, cantitatea de mişcare etc., concepţii de care spiritul nostru nu se poate lipsi. Ne folosim de spaţiul configuraţiilor, a cărui definiţie însăşi introduce coordonatele corpusculilor, refuzând totodată să admitem că corpusculii au în mod constant o localizare în spaţiu etc.

În teoria actuală poate fi relevată de asemenea folosirea constantă a explicaţiilor pur verbale care sunt echivalente cu refuzul explicaţiilor. Acesta e cazul, precum am văzut, pentru noţiunile de complementaritate, de prezenţa potenţială a unui corpuscul într-o regiune întinsă a spaţiului, de caracterul „transcendent” al tranziţiilor lui Bohr, de intervenţia în interacţiunile de particule „virtuale” etc.

Am insistat deja asupra caracterului hibrid atribuit undei considerate pe rând, într-un mod destul de inexplicabil, ca o realitate obiectivă susceptibilă să producă anumite fenomene observabile sau ca o simplă reprezentare subiectivă de probabilităţi. Am insistat de asemenea asupra caracterului bizar al schemei statistice la care se ajunge şi care se abate complet de la schema tradiţională. Suntem determinaţi astfel, aproape fără a ne da seama, să examinăm simultan situaţii diferite şi să confundăm probabilităţile actuale şi probabililăţile prevăzute. De aici rezultă o interpretare contestabilă a relaţiilor de incertitudine, care conduce la teorema lui von Neumann, a cărei demonstraţie este fără îndoială iluzorie.

La criticile precedente mai trebuie adăugată o

remarcă foarte importantă. Teoria microfizică uzuală, adeseori denumită mecanică cuantică, se bazează în întregime, cu excepţia câtorva încercări foarte recente, pe ecuaţii liniare care permit, atunci când s-au găsit mai multe soluţii, să se obţină, adunându-le, o soluţie nouă (principiul de superpoziţie): aceasta înseamnă că soluţiile ecuaţiilor pot să se adauge fără să reacţioneze în vreun fel una asupra alteia. Întrucât analiza ecuaţiilor liniare a putut fi efectuată într-un mod foarte aprofundat de către matematicieni, mecanica cuantică s-a putut constitui într-un corp de doctrină care este din punct de vedere formal foarte riguros şi foarte elegant. Pentru o teorie fizică însă nu e suficient ca ea să fie matematic riguroasă şi elegantă: mai trebuie ca ea să traducă exact realitatea fizică. Or, argumentele dezvoltate mai de mult de către Einstein conduc la ideea că legătura dintre corpus

1 * * A ” A A v / 1

culi şi câmpurile care îi înconjură (unda mecanicii ondulatorii, de exemplu) nu poate fi exprimată decât cu ajutorul ecuaţiilor neliniare. De altfel, liniaritatea este întotdeauna în natură o primă aproximare: ea nu este aproximativ realizată decât pentru fenomene slabe, de mică amplitudine. Or, existenţa corpusculilor, fapt demonstrat experimental, nu poate fi reprezentată în mod concret decât printr-o mare concentrare locală de energie corespunzând unui fenomen foarte intens de mare amplitudine: este deci posibil ca, prin însăşi natura sa, ca să se sustragă oricărei reprezentări liniare. Se ajunge astfp l la următoarea concluzie foarte importantă: „Dacă interpretarea actuală a mecanicii ondulatorii s-a dovedit incapabilă să reprezinte într-un mod clar şi concret dualitatea undelor şi corpusculilor, aceasta se explică poate prin faptul că ea s-a închis de bunăvoie a priori în cadrul prea îngust al liniarităţii”.

Încheind acest paragraf, trebuie să semnalăm că diverşi oameni de ştiinţă, printre care spirite atât de eminente ca Einstein şi Schrödinger, au

a A w

ridicat grave obiecţii împotriva interpretării actuale a microfizicii cuantice şi au arătat că această interpretare duce în unele cazuri la rezultate paradoxale şi foarte puţin acceptabile. Deşi argumentele lor au fost contestate, personal credem, după ce am reflectat îndelung asupra acestei chestiuni, că aceste argumente au o mare valoare şi aruncă un dubiu serios asupra ansamblului ideilor actualmente admise.

Posibilitatea unei întoarceri l «rrp rrzm t /i /, e concrete în microfizică

Am văzut că legile de probabilitate enunţate de teoria actuală dau previziuni statistice bune. Se poate presupune însă că ele nu ating fondul lucrurilor şi că ar fi cazul să se „sape", dacă se poate spune aşa, dedesubtul teoriei actuale pentru a regăsi o imagine concretă a realităţii fizice la scară foarte mică, care să fie compatibilă cu rezultatele statistice bine stabilite. E ceea or a exprimat Einstein când a spus că teoriile actuale ale microfizicii sunt statistic exacte, dar că nu dau o reprezentare completa a realităţii fizice.

Teoria dublei soluţii pe care am schiţat-o în 1926 – 1927 era tocmai o încercare de a ajunge la o descriere mai completă de acest gen. Nu pot expune aici în amănunt această concepţie destul de subtilă] a care ani revf nit de vreo 1 O ani în urma unei lucrări a lui Bnhm şi a colaborării mele eu Jean-Pierre Vigier şi alţi câţiva tineri cercetători. Nu pot decât să trimit la expunerile succesive pe care le-am făcut asupra ei în cursul ultimilor ani pe măsură or ea se preciza.

Voi re amin ti numai că ea consideră unda reală a mecanicii ondulatorii ca pe o undă obiectivă, care ar comporta o foarip mică regiune de valori foarte ridicate ale amplitudinii: acest accident foarte localizat ar fi corpusculul în sensul uzual al cu vuitului. Corpusculul ar fi astfel încorporat undei şi mişc-area sa ar fi determinată de propagarea undei după o lege pe care am denumit-o „formula ghidării". Ghidarea ar fi realizată prin acţiuni neliniare care se exercită în foarte mica regiune unde îşi

are sediul corpusculul. În afara acestei mici regiuni, unda s-ar supune ecuaţiilor liniare admise în mod curent, iar unda de obicei luată în considerare J-n mecanica ondulatorie ar coincide, până la un factor constant, cu această undă exterioară. Această undă luată în considerare în niod obişnuit, unda – JI, fiind astfel lipsită de accidentul localizat care transportă unda obiectivă, ar deveni o undă fictivii, cu caracter subiectiv, care ar mai permite previziuni statistice exacte, dar nu ar mai putea furniza o imagine concretă a corpusculului. Reîntâlnim astfel ideile pe care le-am expus mai înainte, în p aragraful al doilea, asupra deosebirii introduse de teoria dublei soluţii între unda obiectivă având caracter concret şi unda subiectivă, simplă reprezentare de probabilitate.

Analize aprofundate, efectuate pe baza ideilor schiţate mai sus, par într-adevăr să demonstreze că întreaga interpretare actuală a mecanicii ondulatorii se bazează pe a nu ni i te confuzii: confuzia între unda obiectivă şi unda subiectivă, confuzia între probabilităţi actuale şi probabilităţi prevăzute etc. Aşa cum am arătat detaliat în alte expuneri, în terp re tare a mecanicii ondulatorii prin teoria dublei soluţii permite evitarea acestor confuzii Putem astfel restabili o imagine concret:

e a undei şi a corpusculului şi regăsim schema statistică clasică referitoare la indivizi cu proprietăţi bine determinate. Probabilitatea redevine în acest caz rezultatul ne cunoaşterii parţiale a unei situaţii care există şi care e bine definită şi putem din nou să distingem după maniera clasică probabilităţile actuale şi probabilităţile prevăzute. De aici rezultă o modificare a semnificaţiei atribuite în genere relaţiilor de incertitudine, care devin de tipul:

Incertitudine actuală asupra lui x incertitudine prevăzută asupra lui pe h.

Ax şi Apx nu mai pot fi considerate ca nedeterminări veritabile ale poziţiei şi ale cantităţii de mişcare, ci numai ca incertitudini datorate unei necunoaşteri parţiale a situaţiei existente realmente. Aceste incertitudini

corespund unor situaţii diferite, una

V V V V * 1., V

anterioară oricărei măsură: r; i, alta – posterioara v V 1 1. v A f V

măsurării lui px, şi această împrejurare infirmă demonstraţia teoremei lui von Neumann. Întoar

9

cerea la aceste reprezentări concrete în cadrul spaţiului şi timpului dă impresia agreabilă că reîncepem să înţelegem.

În cadrul acestor concepţii noi trebuie, firește, să căutăm a interpreta succesul metodei care reprezintă proprietăţile unui sistem de corpusculi în interacţiune prin propagarea unei unde pur fictive în spaţiul configuraţiilor sistemului. Teoria dublei soluţii trebuie să-şi reprezinte propagarea în spaţiu în cursul timpului a atâtor unde concrete câţi corpusculi sunt în sistem, fiecare corpuscul constituind un accident foarte localizat al undei sale individuale. Această reprezentare are avantajul imediat de a Teda un sens precis coordonatelor corpusculilor: şi, ca urmare, folosirii spaţiului de configurare. Mai trebuie însă explicat cum pot mişcările corpusculilor, definite prin formula ghidării, pornind de la undele lor individuale, să se preteze la o reprezentare statistică exactă prin propagarea unei unde fictive în spaţiul configuraţiilor. Problema este dificilă şi nu voi da despre ea aici o idee completă; cred însă că au fost realizate progrese importante pentru a o rezolva datorită lucrărilor efectuate de mine în cursul ultimilor ani împreună cu Andra de e Silva.

Am văzut că, pent r un în t ei preta ghidar ea mişcării corpusculului prin propagarea undei, teoria dublei s-o l u t i i-a fost nevoită să admi la că ecuat iile de propagare a undei, deşi pot fi considerate cel mai adesea, în afara accidentului care constituie corpusculul, ca aproximativ liniare, trebuie să fie totuşi neliniare. Această împrejurare ar putea avea consecinţe extrem de interesante. Ea ar pute a permite, într-adevăr, să se prevadă „stări tranzitorii” cu proprietăţi neprevăzute şi, în special, să se dea o

descriere, în cadrul spaţiului şi al timpului, a tranziţiilor cuantice între stări stationare. Aceste tranziţii nu ar transcende deloc cadrul spaţiului şi al timpului? ele ar fi pur şi simplu procese foarte rapide de r cadapta re la o nouă stare stabilă. Astfel de procese sunt frecvent întâlnite nu te oriile neliniare ale f iz ic i i clasice şi, dacă meca

nica cuantică este obligată să atribuie tranz iţii lor cuantice un caracter transcendent, e poate pentru că ea se închide pur şi mplu în cadrul prea îngust al liniarităţii. Aceasta nu e totuşi decât o sugestie, dar s-ar putea ca ea să deschidă în viitor teoriei microfizice câmpuri neexplorate.

Să spunem câteva cuvinte despre problema, atât de importantă la ora actuală, a particulelor fundamentale. Un timp îndelungat fizicienii nu au cunoscut decât trei particule pe care le puteau califica drept fundamentale! e lectr o nul, pro tonul şi fotonul de lumină. Dar, începând din 1930, această frumoasă simplitate s-a spulberat, deoarece s-au descoperit succesiv neutronul, electronul p o z it iv „antiparticulă” a electronului, mezonul [1., apoi mezonul 7 t, fără a mai vorbi de neutrin, a cărui existenţă a rămas multă vreme destul de ipotetică. De vreo zece ani această „faună” microfizică s-a extins considerabil. Cunoaştem acum un mare număr de particule şi antiparticule care se

Împart în particu 1 e uşoare sau „leptom”, în pa! j. icule de masă medie sau „mezoni” şi în particule gre le sau „b ari on i”, la care se adaugă foionul de lumină. Fi ce are din aceste particu le este caracterizată prin masa, sarcina electrică şi spinul ei, dar astăzi ştim că, pentru a defini complet o particulă, trebuie să adăugăm la aceste trei mărimi cunoscute de mai în a nu te alte trei mărimi identificate mai re ce n t: isospinul, nu în a nu l barionic şi numărul de stranietate. Te ori a microfizică se află deci în faţa obligaţiei de a căuta să interpreteze ansamblul acestor fapte foarte complexe. Or, ea este foarte stingherită s-o facă fiindcă actualmente se refuză localizarea particulelor

în spaţiu şi deci nu li se poate atribui o structură, deoarece o structură este în mod necesar definită de localizările relative ale părţilor unui întreg. În special, teoria actuală nu poate defini clar „raza” unei part icule, cum definea Lorentz la l im pul său raza e lectronului, şi acest lucru se află la originea unora

P D

dintre cele mai i în port a n te dificultăţi pe care le întâmpină. Or, în cursul ultimilor ani, Yigier şi colaboratorii săi, conduşi de ideea de a reveni

p la reprezentări concrete în microfizică, au reuşit sa de zv ol te o te o îi e a p ar t şi cu l el o r care le re p re z în tă în cadrul spaţiul-timp ca pe obiecte întinse având o structură internă bine definiia. Ei au arătat că această i în a g în e, dacă e a p r o fu n d a 1 ă, e o n ţi ne mai multe elemente decât s-ar fi pul u t crede la prima vedere şi permite definirea ansamblului mărimilor a căror introducere s-a vădit necesară pentru ac ara de îi z a diversele feluri de păr t i cule. Ei au putut să regăsească astfel formula, astăzi celebră, a lui Ge11-Mann care permite să se exprime sarcina electrică în funcţie de isospin, de numărul barionic şi de numărul de stranietate. Această încercare pare extrem de interesantă şi succesul ei, dacă se con

9 >

fi rână, ar aduce un argu în e n t hotărâtor în favoarea ideii că o întoarce re la reprezentările concrete în microfizică ar putea fi f o ar te fructuoasă.

C () neluzie

Reprezentarea concretă arealităţi i fizice în cadrul spaţiului şi al timpului cu conexiune cauzală a fost la o îi g în e a tuturor progreselor ştiinţei moderne: ea este conformă tendinţelor profunde ale’s p i rit u lui nostru, şi dacă ne aba tem de la ea încetăm să o înţelegem.

De 35 de ani ni icrofi zic a s-a lovit de mari dificultăţi, care au putut părea chiar de neînvins, pen

*”.

tru a mentme acest gen de imagini şi, neizbutind să

parvină la aceasta, a renunţat. Chestiunea este de a’s Li dacă ac e a stă renunţare foarte gravă este, p p o *

Într-adevăr, necesară şi dacă nu s-ar putea, cu ajutorul un o r e o n cepţii noi şi al unor analize în a i-a p r o fund ale, să se revină la o reprezentare concretă arealităţilor microfizice care se aprob i e de acelea de tip clasic. Personal cred astăzi că acest lucru e re a fi z a b i l şi că trebuie făcu te eforturi mari pentru a ajunge la el. Într-adevăr, ar putea fi periculos pentru viiterul fizicii ca ea să se mulţumească prea uşor cu formalisme pure, cu imagini vagi şi cu explicaţii pur verbale ce se exprimă prin cuvinte cu semnifica! ic i în p recisă.

IDEILE CARE MĂ CĂLĂUZESC ÎN CERCETĂRILE MELE[13]

Consideraţii generale în cercetările mele nu vreau să mă supun unui sistem filosofic preconceput, spre exemplu să admit a priori că determinismul este universal, deoarecf nu mă simt calificat pentru a emite o opinie atât de absolută. De altfel, cred că influenta anumitor

7

sisteme filosofice, cum sunt pozitivismul sau idealismul, a fost destul de nefastă în dezvoltarea c’Ontemporană a fizicii cuantice. Totodată, sunt profund convins că există o realitate fizică exterioară nouă, care e independentă de gândirea noastră şi de mijloacele noastre imperfecte de a o cunoaşte, fără de care unitatea cunoştinţelor umane, acordul t f 7

tuturor oamenilor asupra constatării faptelor ar fi de neînţeles. Cred, de asemenea, în necesitatea de a ne întemeia teoriile privind fenomenele fizice

pe concepţii clare şi pe imagini precise asupra evoluţiei lor în spaţiu şi în timp (sau, mai exact, în spaţiul-timp einsteinian, întrucât exactitatea concepţiilor relativiste nu mi se pare că trebuie pusă la îndoial a).

Cu toate acestea, căutarea cauzalităţii care leagă fenomenele succesive a fost întotdeauna şi rămâne încă ghidul cel mai sigur al cercetării ştiinţifice. Uimitoarele

13 Expunere (inedită) scrisă în decembrie 1965.

progrese contemporane ale biologiei, de exemplu, se bazează în esenţă pe o mai bună cunoaştere a fenomenelor chimice, electrice sau mecanice care influenţează desfăşurarea proceselor biologice, pe când încercările făcute de unii autori, ca J ordan, pentru a introduce un nedeterminism cuantic în explicarea fenomenelor vieţii, au rămas până acum fără nicio eficacitate.

Este esenţial să remarcăm că, dacă formalismele

9 7

matematice sunt singurele care ne permit, în ştiinţele unde pot fi introduse, să dăm ideilor noastre o mare precizie, ele prezintă totuşi unele pericole deoarece, lăsându-ne sedusi de claritatea şi automape p tismul lor, putem să uităm cu uşurinţă că ele nu furnizează niciodată altceva decât consecinţele ipotezelor ce au fost puse la baza lor. Intuiţia şi imaginaţia sunt singurele care permit spargerea cercului în care se închide în mod firesc orice gândire ce vrea să fie pur dedu divă. Un exemplu al acestui fapt, deosebit de important pentru noi, este folosirea aproape exclusivă a analizei liniare de către teoriile cuantice actuale. Se ştie că o teorie fizică este liniară atunci când, după ce s-au găsit mai multe soluţii ale ecuaţiilor pe care ea se bazează, se poate admite că suma acestor soluţii este de asemenea o soluţie, dar aceasta e a priori o împrejurare cu totul specială, a cărei realizare strictă trebuie să fie o excepţie. Caracterul liniar ce se atribuie în general ecuaţiilor fizicii cuantice actuale conduce la importanţa acordată de ea spaţiului funcţional denumit „spaţiul Hilbert”, spaţiu abstract care nu are, evident, nici im caracter fizic. În multe ramuri ale fizicii, numeroase fenomene pot fi considerate ca fiind guvernate de ecuaţii liniare sau cel puţin foarte aproximativ liniare, a căror manipulare este relativ uşoară. Ni se pare însă prea puţin probabil ca natura veritabilă a universului microfizic şi, în special, structura unităţilor (fotoni sau particule materiale) care îl compun să poată fi reprezentate prin ecuaţii liniare sau chiar prin ecuaţii foarte slab neliniare. Dezvoltarea încă destul de embrionară a analizei neliniare

nu ne permite deloc să sperăm realizarea unor progrese rapide în acest domeniu, dar aceasta nu e un motiv să admitem ca ipoteză de bază caracterul liniar sau cvasiliniar al proceselor microfizice. Dimpotrivă, putem să credem că problemele puse de fizica cuantică şi coexistenţa undelor şi corpusculilor nu-şi vor găsi adevărata lor interpretare decât în cadrul unor teorii cu caracter neliniar.

Nu trebuie, de altfel, să ne lăsăm înşelaţi de re

7 7 9 9

prezentările matematice. Dacă concepte abstracte cum este cel al spaţiului lui Hilbert în fizica cuantică, al spaţiului configuraţiilor în mecanica clasică şi în mecanica ondulatorie, al extensiunii de fază în termodinamica statistică constituie auxiliari foarte clari şi foarte utili pentru expunerea teoriilor, ar fi o gravă eroare să li se a trebuie o realitate fizică pe care un o pot avea şi să fie considerate drept cadrul veritabil al desfăşurării fenomenelor, desfăşurare care are loc totdeauna, credem noi, în cadrul spaţiului fizic şi al timpului.

Un alt pericol care ameninţă neîncetat dezvoltarea fizicii teoretice şi arată necesitatea de a preciza în acest domeniu sensul termenilor folosiţi este utilizarea unor cuvinte a căror semnificat le poate fi interpretată în moduri diferite. Aş cita ca exemplu cuvântul „incertitudine”, atât de folosit în fizica cuantică din ziua când Heisenberg a enunţat faimoasele sale „relaţii de incertitudine”. Ce înseamnă exact afirmaţia că poziţia unei particule într-o undă care umple o regiune întinsă a spaţiului este incertă? inseamnă oare aceasta că particula are în fiecare moment o poziţie în această regiune a spaţiului, dar că noi nu cunoaştem această poziţie sau poate chiar că ne este imposibil să o determinăm? Sau aceasta înseamnă că poziţia particulei în întreaga întindere a acestei regiuni este realmente nedeterminat a, că ea este, într-un fel, „omniprezentă” în ea? Toate reflecţiile mele din ultimii ani pe aceasta teni a m-au dus la convingerea că prima interpretare este foarte clară şi

firească, pe când celei de-a doua este foarte gren să i se a tri buie o semnificaţie cu adevărat satisfăcătoare. În ceea ce mă priveşte, cred că o mărime fizică are în realitate totdeauna o valoare bine determinată. Fan 1 ul că valoarea unei mărimi i e-te necttnu. sculă (sau chiar că noi ani fi în iuiposibil late practică de a o cunuaşic) nu înseamnă deloc că această valoare este nedeternu'nată. Astfel, faptul că poziţia sau cantitatea de mişcare a unui corpuscul în unda sa nu ne este cunoscută sau scapă măsurătorilor noastre nu înseamnă deloc că această mărime nu are în orice moment o valoare deterjninată. Voi reveni de altfel mai departe asupra acestui punct.

Se mai întâmplă uneori ca în expunerea dez. voltărilor teoretice să se oscileze între două interpretări contradictorii ale aceluiaşi cuvânt, trecându-se pe furiş şi aproape inconştient de la una la cealaltă. Astfel mulţi autori (şi, fără îndoială, în unele din lucrările sale, chiar autorul acestui studiu) consideră pe rând unda Y, folosită de obicei în mecanica ondulatorie, fie ca o undă reală, proces fizic capabil să determine fenomene fizice observabile cum sunt interferenţele, difracţia, stările staţionare

9 / 9 pe

ale atomilor etc., fie ca o simplă reprezentare de probabilităţi care nu are mai multă „forţă de constrângere" asupra fenomenelor fizice decât un tabel de mortalitate asupra decesului indivizilor. Se poate spune că din acest punct de vedere predarea obişnuită a mecanicii ondulatorii se bazează pe un perpetuu echivoc.

Vom termina aceste consideraţii generale afirmând că progresele ştiinţei, considerate independent de aplicaţiile lor, au rezultat întotdeauna din eforturi de „a înţelege mai bine". Dorinţa de a înţelege

— o 9 4» o a fost la originea tuturor reuşitelor sale. În plus, sunt înclinat astăzi să cred că e mai bine să fim foarte rezervaţi faţă de afirmaţia, atât de des repetată de 40 de ani încoace de numeroşi fizicieni.

9

potrivit căreia fenomenele de tranziţie cuant că în transcende, pentru a folosi un cuvânt al lui Niels Bohr, orice descriere în termeni de spaţiu şi de tâmp şi, prin urmare, ar fi definitiv incomprehensibile. Ali se pare mai firesc şi mai conform ideilor care au orientat întotdeauna în chip fericit cercetarea ştiinţifică să presupunem că tranziţiile cuantice vor putea fi interpretate într-o bună zi poate cu ajutorul unor mijloace ana Ktice de care nu dispunem încă, ca procese foarte rapide, dar în principiu descriptibile în termeni de spaţiu şi de timp, analoge acelor treceri bruşte de la un ciclu limită

O 9

la altul pe care le întâlnim foarte des în studiul fenomenelor mecanice şi electromagnetice neliniare. Lucrările efectuate în ultimii ani de către unii dintre colaboratorii mei (Francis Fer, João Luis Andrade e Silva şi Georges Lochak) îmi dau multe speranţe în această privinţă.

La modul mai general aş spune că, atunci când un proces fizic ni se pare imposibil de înţeles şi de reprezentat, trebuie să ne gândim întotdeauna că noi şi viguroase eforturi intelectuale ne vor permite într-o bună zi să-l înţelegem şi să-l reprezentăm.

Pe de altă parte, istoria ştiinţelor ne învaţă că gândirea savanţilor, ca şi aceea a celorlalţi oameni, nu e lipsită de o anumită inerţie. Când o teorie, adică un anumit mod de a considera şi a prevedea o clasă de fenomene, a înregistrat un succes, există tendinţa de a se opri la ea şi, privind-o ca definitivă, de a nu se face efortul de a mai examina şi

9

altele. Astfel, se întâmplă adeseori că inovatorii, vreau să spun toţi cei care propun idei noi, se lovesc de rezistenţe puternice şi aceasta chiar atunci când există bune motive de a atribui o mare pondere opiniilor lor. Pentru a ne limita la domeniul fizicii şi citind doar câteva nume, mai e oare nevoie» / să amintim cât de mult s-au trudit Fresnel, Maxwell, Boltzmann, Einstein pentru a-şi

impune ideile menite, cu toate acestea, să deschidă fizicii imense perspective noi. Există aici destul material pentru ca inovatorii să fie apăraţi împotriva descurajării ce ar putea să le-o inspire lipsa de înţelegere de care se lovesc.

Coexistenta undelor şi particulelor

De mai bine de o jumătate de secol, cuvintele undă şi particulă revin în mod constant în fizica cuantică... În 1905, făcând o sinteză a vechilor teorii corpusculare ale luminii, pe atunci abandonate, şi a teoriilor ondulatorii ale lui Fresnel şi Maxwell unanim adoptate, Albert Einstein a afirmat că în lumină există în acelaşi timp şi unde şi corpusculi, fotonii noştri de azi, şi a dedus din ea interpretarea, până atunci imposibilă, a efectului fotoelectric. Cu aproape 20 de ani mai târziu, în 1923, eu am avut cutezanţa de a extinde coexis/ ptenţa undelor şi particulelor, presupunând că nu numai fotonii de lumină, ci şi toate celelalte partic. ule materiale, cum sunt electronii, sunt însoţite de o undă. Pentru mine, aşa cum a fost şi ideea lui

9

Einstein, nu era vorba de o vagă şi puţin inteligibilă „dualitate", ci de o veritabilă coexistenţă a undei şi particulei, amândouă prezente în spaţiul fizic şi intim legate una de cealaltă. Dar, în timp ce concepţia pe care am pus-o astfel la baza mecanicii ondulatorii a fost confirmată de lucrările matematice ale lui Erwin Schrödinger şi de descoperirea experimentală a difracţiei electronilor, o nouă interpretare a dublului aspect, corpuscular şi ondulatoriu, al luminii şi al materiei se dezvolta datorită lucrărilor lui Niels Bohr, Max Born şi

9

ale tinerilor teoreticieni ai Şcolii de la Copenhaga, interpretare care, s-ar putea spune, golea noţiunile de undă şi de particulă de toată substanţa lor.

Pentru a o demonstra, să începem cu unda. Ideea clasică clară şi inteligibilă pe care o avem despre o undă este că ea e un proces fizic ce evoluează în spaţiu în cursul timpului după o anumită ecuaţie de propagare. Fireşte, o

astfel de undă are în fiecare punct, în fiecare moment, o amplitudine fiziceste bine determinată şi nu avem în niciun fel dreptul de a impune acestei amplitudini o valoare aleasă arbitrar. Or, în interpretarea actualmente ortodoxă a mecanicii ondulatorii, funcţia de

7 f undă Y nu mai este decât o soluţie a ecuaţiei undelor (ecuaţia lui Schrödinger, în cazul cel mai simplu), a cărei singură semnificaţie este de a reprezenta probabilitatea rezultatului diverselor măsurători pe care le putem efectua pe corpuscul şi, pentru ca ea să poată juca acest rol, se determină arbitrar amplitudinea sa prin procedeul numit „normalizare". C uda Y din mecanica ondulatorie nu este aşadar o undă fizică reală şi proprietăţile ei ridică paradoxuri îngrijorătoare. Mai întâi această undă a pare ca determinând fenomene fizice cum sunt: interferenţe, difracţie, energii ale stărilor staţionare ale unui sistem cuantificat etc. Or, cum ar putea determina o simplă reprezentare de probabilităţi, care are în mod necesar un caracter subiectiv, fenomene fizice observabile ca şi cum un simplu tabel de mortalitate ar putea fi cauza morţilor individuale? Prin ce stranie coincidenţă o reprezentare de probabilităţi ar putea să se propage în spaţiu în cursul timpului ca o undă fizică reală, susceptibilă de a se reflecta, a se refracta, a se difracta?

Dar să trecem acum la corpuscul. Prin definiţie, corpusculul este un mic obiect localizat permanent în spaţiu şi având o anumită structură. Or, după Max Born, ar trebui să admitem că corpusculul este prezent „în stare potenţială" pe toată întinderea undei sale şi această afirmat le trebuie înţeleasă nu ca una ce exprimă prezenţa corpusculului în fiece clipă într-un punct necunoscut, ci omniprezenta lui pe toată întinderea undei.

O asemenea concepţie mi se pare prea puţin inteligibilă. Cum s-ar putea concepe că un foton, ale

1 1 1 A...

cărui dimensiuni n-ar fi pare-se, decât mai mici decât acelea ale unui atom, s-ar putea afla răspândit într-un grup de unde luminoase a căror lungime este în general de

ordinul metrului? Cum s-ar putea imagina că energia relativ considerabilă, transportată de un corpuscul, s-ar putea concentra brusc într-o regiune foarte mică, de exemplu când un foton ajungând pe o foarte mică celulă fotoclecirică provoacă acolo ciecţia unui electron? () concepţie care nu foloseşte decât conceptul de undă omogenă (de altfel, după cum am văzut, fictivă), fără nicio concent rare locală a energiei, nu poate expli

<.

ca realmente astfel de fenomene. Într-adevăr nu nvom droplul să folosim cuvântul corpuscul golindu-l de întregul lui sens. De altfel mi se pare că asemenea concepţie despre transportul energiei corpusculare este în totală contradicţie cu teoria câmpurilor şi, ca urmare, ireconciliabilă cu înseşi ideile pe care Einstein le-a pus la baza teoriei relaivităţii[14]. Ştiu hine că în teoria cuantică a câmpurilor se caută a se concilia cele două puncte de vedere prin introducerea numerelor de ocupare, dar cred, după cum voi explica mai departe, că este vorba – *. ici de un „placaj", printr-un procedeu cu totul artificial, al conceptului, în sine foarte clar, de „număr de corpusculi" pe o imagine pur ondulatorie. Vom reveni mai departe asupra acestui punct.

Teoria duAei soluţii şi stadiul ei actual

Modul de a interpreta mecanica ondulatorie, care a deveni L „ortodox", nu era deloc ace ia pe care îl aveam în minte în momentul când am conceput ideea ei de bază. Aşa cum am mai spus, vedeam atunci că exista o veritabilă

---

14 Se vor putea compara ideile pe care le dezvoltăm aici cu f o a r t e pătrunzătoarea obiecţie făcută de Einstein împ o l ri va folosirii exclusive a undei '1' în me canica ondulatorie (a se vedea: Rapports et <tî$ci«.r;i«ons dtt V* Condei/ So/vay de Physiqiie din octombrie 1927, Gaut hier- Villars, Paris, 1928, p. 2513-250). Einstein termina spu-nînd: ,. După păreiea inea, această obiecţie nu poate fi ridicată decît afirmînd că procesul nu este descris numai prin undă, ci că, în a c el a şi tiinp, e localizat şi corpusculul în undă în cursul propagării. Cred că d-1 de Broglie are drep late fă cînd cercetări în acea s tă direcţie. Dacă folosim exclusiv unda Schrodinger, interpretarea lui 2 implică după mine o cQntradicţie cu postulatul de relativrtateH

coexistentă a undei şi corpusculului, strâns legate unul de altul, unda şi corpusculul fiind realităţi fizice definite în modul obişnuit. Fusesem deci nevoit să fac în acea epocă, 1926 – 27, un efort care era, desigur, insuficient pentru a obţine o reprezentare de acest gen.

Primul lucru pe care îl aveam de făcut era de a restitui undei un caracter fizic concret pe care nu-l mai poseda unda F, reprezentare abstractă de probabilitate, aşa cum începea ea să fie considerată; dar mai trebui a explicat faptul cert că această undă Y, în ciuda caracterului ei fictiv, se propaga ca o undă r cală. Am avut atunci ideea că trebuiau deosebite două unde, amândouă fiind soluţii ale ecuaţiei de unde a mecanicii ondulatorii şi, ca urmare, propagându-se în acelaşi mod, din care una pe care o numeam unda v-ar fi o undă fizică având o amplitudine bine determinată, iar cealaltă, unda Y obişnuită, ar fi calchiată după unda v datorită relaţiei Y = Cv, în care C ar fi un coeficient de normare. Normarea undei Y, menţinându-i-se proprietăţile de propagare a unei unde fizice, i-ar anula caracterul de realitate concretă. Astfel ar fi înlăturat paradoxul unei reprezentări de probabilitate care determină fenomene fizice observabile, fiindcă ele ar fi în realitate determinate de unda fizică v, iar nu de unda Y arbitrar calchiată după unda v, astfel încât să reprezinte probabilităţi fără a păstra un caracter fizic concret. La ora actuală această ipoteză mi se pare încă a fi singura care ne permite să înţelegem de ce unda Y uzuală a fost rând pe rând interpretată ca obiectivă sau ca subiectivă, după cum sunt considerate proprietăţile sale de propagare care determină fenomene observabile sau caracterul său de simplă reprezentare de probabilităţi.

Trebuia să explic însă şi existenţa corpusculului alături de aceea a undei, complicând imaginea pe care mi-o furniza această „teorie a dublei solu ţii”, aşa cum am expus-o mai sus. Pentru aceasta am imaginat atunci (1927) că adevărata undă fizică, deşi coincide aproape pretutindeni cu unda v, presupusă a avea o foarte slabă amplitudine, ar diferi de ea totuşi într-o foarte mică

regiune a spaţiului unde ea ar prezent a o foarte mare amplitudine locală, regiune care ar constitui tocmai corpusculul legat de unda sa. Pe această undă am numit-o unda u şi presupuneam în fond că, în afara regiunii foarte mici singulare care constituie corpusculul, ea se reducea la unda v astfel încât se obţinea, în acest caz, foarte aproximativ u = v. În cadrul ecuaţiilor de unde liniare folosite în mod obişnuit.

9

unda u ar apărea ca posedând o singularitate în sens matematic (cu un pune în care amplitudinea ar fi infinită), dar ar putea fi altfel dacă s-ar admite că în regiunea singulară în care amplitudinea undei este foarte mare intervin termeni neliniari care nu figurează în ecuaţiile uzuale.

Teoria dublei soluţii astfel completată conduce la a se atribui corpusculului o traiectorie definită matematic ca fiind o linie ortogonală cu suprafeţe de fază egală ale undei v. Acest fapt este exprimat printr-o formulă zisă „formula ghidării" care precizează în ce fel este ghidată mişcarea corpusculului de către propagarea undei. Ajungem astfel să înţelegem de ce probabilitatea prezenţei corpusculului în punctul de coordonate x, y, z în momentul te dată de pătratul modulului Y (x, y z t) 2 al funct iei Y.

9

Totuşi reflecţiile pe care le-am consacrat din nou teoriei dublei solut îi de vreo 15 ani m-au făcut

*

să-mi dau seama că această teorie sub forma ei veche şi formula ghidării care decurge din ea nu sunt suficiente pentru a explica complet caracterul aleatoriu al manifestărilor corpusculare şi intervenţia constantă a probabilităţilor în previziunea lor. Aceasta e ceea ce m-a făcut să introduc treptat în concepţia mea despre coexistenţa undelor şi particulelor ideea că o particulă, chiar când ni se pare izolată, adică sustrasă oricărei interacţiuni exterioare, este totuşi mereu în contact cu un mediu / i ascuns jucând rolul unui fel de termostat, care

schimbă cu ea continuu într-un mod aleatoriu energie şi o cantitate de mişcare. Această idee a fost sesizată în 1954 de către Bohm şi Vigier, care au emis atunci ipoteza existenţei unui „mediu subcuantic" ascuns şi subiacent. Dacă se adoptă acest punct de vedere, traiectoriile unei particule definilr prin formula ghidării nu mai apar decât ca traiectorii medii ca urinare a fluctuaţiilor pe care le impune mişcări i lor contactul permanent cu mediul suhenant ic. Pe această bază nouă am putut dezvolta, înepind din 1960, o „termodinamică ascunsă a particulelor despre care se va găsi mai jos (p. 129 şi urm.) o expunere rezumativă. Această termodinamică constituie astăzi, după părerea mea, forma cea mai perfecţionată a vechii inele teorii a dublei soluţii şi sunt convins că, atunci

9 /

când i se va acorda atenţia pe care o merită, ea va putea furniza. unul din punctele de plecare pentru construirea unei noi interpretări, cu adevărat inte 1 igibile, a fizicii cuantice.

În cele de mai sus am fost de I erminat, fireşte, să restabilesc imaginea clasică după care particula este un mic obiect localizat în spaţiu, având o extensiune foarte mică, dar finită, şi, ca urmare, o structură internă. Acesta e motivul pentru care timp de câţiva ani am urmărit cu mult interes şi simpatie lucrările lui Jean-Pierre Yigier şi ale colaboratorilor săi, care caută să obţină o imagine spaţiotemporală a particulelor de natură să reflecte ansamblul caracteristicilor (niasă, sarcină electrică, spin, număr barionic, st raneitate) pe care descoperirile succesive efectuate în acest domeniu ne-au determinat să le atribuim. Cred că încercările lor vor ajunge la o sinteză care va fi cu totul de acord cu teoria pe care am schiţat-o mai sus, precum şi cu ideile pe care le-am formulat cu vreo 30 de ani în urmă când, sprijinindu-mă pe datele încă foarte incomplete de care se dispunea atunci, am încercat să obţin o viziune unilară

9

a constituţiei tuturor particulelor, considerându-le ca

fiind formate din combinaţii diverse de unităţi de spin (metodă de fuziune) l lA se vedea cari ea mpa: Zntrorl/irf/on. f. l la nouvW/e thi-orie dl 8 partirdes de JI „I.-P. l în/t’r t’t de st.9 rollabaratertr? Gaut hier-Villars, Paris, 196L De atunci însă problema a pro & resat mult.

O observaţie a lui Einste-in asupra formalismului uzua l al mecanicii ondulatorii

Interpretarea curent admisă a mecanicii ondulatorii, abandonând orice imagine clară a particulei, nu mai vrea să admi tă localizarea ei continuă în spaţiu. Ea nu poate deci să-şi reprezinte clar nici incidenţa unui foton pe o celulă fotoelectrică, nici aceea a unui electron pe un dispoz îţi v cap a bil de a o detecta. Ea nu poate nici să-şi reprezinte ciocnire a a doua particule venind în contact între ele.

Din acest motiv, teoria în tera e t i uni i între două

f particule p re zintă un aspect singular, care a reţinut a ten tia lui Einstein.

Să considerăm o particulă a cărei’s t are iniţială de energie Ei este, conform formalismului uzual, reprezentată prin funcţiat* = ci 9/ cu cu = 1 în valoare absolută? y fiind „funcţia proprie” ce corespunde energiei Ei. Dacă particula este supusă în decursul unui timp l i în i tat la un foarte slab cinip perturbator datorat, de exemplu, apropierii unei alte particule, la sfârşitul perturbării unda ei va fi devenit Y = 2 ck 9. Şi, cum perturbarea a rămas foarte slabă, vom avea pentru Ci o valoare rămasă foarte apropiată de 1 şi pentru toate e* cu k valori extrem de mici. Or, mecanica ondulatorie ne învaţă, într-un niod care pare cert, că dacă, la sfârşitul perturbării, s-a putut produce un transfer de energie şi de cantitate de mişcare între o 1 P

p ar fi e ula p eu urbatoare şi particula p ertu rh aţă, aceasta din urmă va avea în final o prob a bil i t a te \ci]2 foarte apropiată de unitate de a rămâne în starea sa iniţială de energie Ey şi probabilităţi foarte mici ca 2 de a poseda o energie diferită de Ei. Energiile EJT însă pot fi foarte diferi te de Ei şi de aici rezultă că perturbări foarte

slabe pot de termina a p a îi\ ia unor p r o b a b ilităţi f o ar te mici pentru ca energia particulei considerate să fi suferit o schimbare importantă. Subliniind caracterul foarte surprinzător al acestei concluzii, Einstein considera că se oh! i nea aşi fel o descriere. s7 «//. vi/în/ pxacir a ceea ce se putea petrece, dar i se pliva necesar să substituie acestei descrieri statistice o descriere cauzală, cu toate că acest lucru îi păruse foarte greu.

În foarte remarcabila contribuţie de la începutul cărtii[15] consacrate celei de-a 60-a aniversări ale

1

mele (Albin Michel, Paris, 1953), Einstein a reluat acelaşi argument sub o formă mai dezvoltată, dar i-a adăugat următoarea concluzie care mi se pare că permite sesizarea fondului gândirii sale:

„Mi se pare însă că, în definitiv, se va recunoaşte că în locul forţei active, de exemplu energia potenţială sau pentru efectul Compton câmpul undei, trebuie pus ceva ce are o structură atomică la fel ca electronu 1 însuşi".

Cred că ideea emisă aici de Einstein este extrem de profundă, dar că este prezentată sub o formă poate puţin obscură. În consecinţă, voi încerca să desprind mai clar semnificaţia pe care ea o capătă în cadrul concepţiilor mele.

p w 1 1 w A, A* w I 1 W

Să considerăm mai întâi o singură particulă pe unda sa v. Pentru mine unda v este un proces fizic foarte slab care nu propagă decât o energie nulă sau neglijabilă. Totuşi acest fenomen foarte slab reglează, cel puţin în medie, abstracţie făcând de perturbaţiile provenind din mediul subcuantic, deplasarea puternicei concentrări de energie care constituie particula. Incidenţa acestei puternice concentrări de energie ghidată de undă este aceea care produce efecte observabile cum sunt efectul fotoelectric sau impactul unui electron pe o ţintă.

Să trecem acum la cazul examinat mai sus a doua

15 Louis de. Broglie physicien et penseur.

particule ale căror unde parvin în aceeaşi regiune a spaţiului, ceea ce le va permite să interacţioneze. După părerea mea, folosirea clasică în mecanica ondulatorie a spaţiului configuraţiilor, folosire despre care vom mai vorbi mai departe, ne dă, cel puţin cu aproximaţia newtoniană, o reprezentare sărăcită a propagării celor două unde v individuale în spaţiul fizic. Or, pare bine stabilit că cele două particule sunt capabile să schimbe brusc între ele, printr-o n proces calificat drept „cuantic" şi declarat nedescriptibil de teoria ortodoxă, cantităţi finite de energie şi de e antitate de mişcare într-un mod pe care compoziţia spectrală a undei Y în spaţiul configuraţiilor îl permite să fie prevăzut, deoarece ea prevede probabilităţile diverselor procese cuantice posibile care asigură toată conservarea globală a energiei şi ac antităţii de mişcare. Aici de asemenea avem deci de-a face cu un proces foarte slab, propagarea celor două unde v individuale în spaţiul fizic (reprezentată într-un mod aproximativ prin aceea a undei în spaţiul configuraţiilor) care reglează, cel puţin statistic, procesul puternic al schimburilor de energie şi de cantităţi de mişcare între cele două particule.

În cadrul concepţiilor mele, ideea profundă a lui Einstein mi se părea atunci a putea fi interpre tată în modul următor. Particulele fiind presupuse localizate permanent în spaţiu şi ani mate de o mişcare aleatorie datorată superpoziţiei la ghidarea de către unda v a perturbărilor provenite din mediul subcuantic, ele pot la un anumit moment să se afle foarte aproape una de cealaltă şi în acest caz se poate produce între ele o interacţiune intensă şi bruscă, probabil cu caracter neliniar, constituind un „şoc" cu caracter cuantic cu transfer notabil de energie şi de cantitate de mişcare. Mi se pare că într-adevăr aceasta era ideea lui Einstein atunci când scria că, pentru a explica procesele puternice care transferă o energie importantă, trebuia înlocuită forţa activă ce figure ază în ecuaţia de unde uzuală prin ceva ce are o structură atomică.

Cred că, considerat în spaţiul fizic, procesul de

transfer de energie şi de cantitate de mişcare prin şoc trebuie să consiste într-o „prindere” bruscă a fiecăreia din cele două particule pe una dintre componentele monocromatice ale undei sale v cu conservarea globală a energiei şi a cantităţii de mişcare. Ideile pe care le-am expus aici ar permite să se înţeleagă cum ar putea undele v, deşi nu vehiculează practic nicio energie decelabilă, să regleze totuşi nu numai localizările p o sibile ale part icule lu’ r, ci şi transfe i-ii îi le impurtaute de energic şi de cantitalc de mişcare care}) ot rezulta din „socuri le „lor.

Te ori a ortodoxă reprez în tă destul de e x ac t, până la un coeficient de normalizare, unda v a soci aţă p ar fi cul e i. Aceasta e, d up a părerea mea, ceea ce îi permite să prevadă fenomenele şi probabilităţile lor respective care sunt oarecum „prefigurate în structura însăşi a undei. luni însă această teorie refuză să introducă imaginea unor particule localizate, ea este total în e a p a bilă să descrie pe oce’s ele bruşte de transfer de energie şi de cantitate de mis

9 D 9 f care ce se produc, de exemplu, în momentul efectului fotoelectric sau al ciocnirii între două particule. Ea este astfel nevoită să declare indescriptibile t o a te aceste procese cuantice care t o tu şi intervin, pare-mi-se, în tot ce este observabil.

Alte observaţii critice

Vom mai face câteva observaţii critice cu privire la metodele folosite astăzi în microfizica teoretică. Xe vom liniita să le enunţăm – destul de rapid, fără a le consacra dezvoltările lungi de care ele ar fi susceptibile.

În urma lucrărilor lui Schrödinger asupra dezvoltării matematice a mecanicii ond u la t o îi i (1926), s-a admis că, pentru a trata o problemă în care intervin câteva p ar t i cul e în interacţiune, tre’ b u i e luată în e on’s ide rare propagarea unei uri de Y nu în spaţiul fizic, ci într-un spaţiu abstract format cu ajutorul coordonatelor ansamblului particulelor (în principiu 3 N e o o rd o na te-a V particule). E ce e a ce se numeşte se «aI lui configuraţiilor. Folosirea acesu i spaţiu abstract nu ridică

nicio di fi cul t a te în mecanica clasică und… punelele ina I ei! ale presupuse bine localizate în spaţiul fizic au coordonate Line de fi ni te şi în care variaţiile acestor e o ordo n-a te în f un e ţie de timp determină e o ni p l e t evoluţia sistemului. Dar succesul previziunilor obţinute în mecanica ondulatorie prin meloda's spaţiului configurai iilor face să se uite, după cum mi se pare, ceea ce prezintă ea ca paradoxal în acest caz. Într-adevăr, cum se poate adniite că singura reprezentare posibilă a interacţiunilor între câteva particule trebuie să se facă într-un spaţiu vizibil abstract cum e spaţiul configuraţiilor? Şi dacă se admite odată cu interpreta rea ortodoxă a mecanicii cuantice că particulele nu sunt în mod constant localizate în spaţiu, cum se poate imagina un spaţiu construit, chiar în niod abstract, pe ansamblul coordonatelor lor, de vreme ce în fond se admite că aceste coordonate nu există? Singura explicaţie posibilă a succesului acestei metode în mecanica ondulatorie mi se pare a fi că ea furnizează un fel de reprezentare a ceea ce se petrece în spaţiul fizic în care se propagă unde transportând particule localizate. Această reprezentare, care se arată foarte utilă pentru previziunile statistice, este totuşi în mod necesar să

9

răcită, deoarece ea nu poate reprezenta propagarea undelor individuale în spaţiul fizic. Cercetările continuate de mine în această direcţie de câţiva

9

ani, preciza te de analizele foarte pătrunzătoare ale lui Andrade e Silva, mă fac să cred că aici se află semnificaţia adevărată a succesului metodei spat putut configuraţiilor aşa cum a fost ea introdusă

D;»

de Schrödinger în mecanica ondulatorie. E un subiect care se cere mai bine aprofundat, deoarece acest succes al metodei spaţiului configuraţiilor este una din obiecţiile cele mai frecvent opuse revenirii la descrierea fenomenelor în spaţiul fizic pe care o preconizează teoria dublei soluţii.

În lucrările în care este expusă interpretarea fenomenelor fizicii cu antice cu ajutorul ideilor Şcolii de la Copenhaga se întâlneşte mereu următoarea afirmaţie: aspectul corpuscular şi aspectul ondulatoriu al unităţilor fizice nu pot fi niciodată observate în acelaşi timp, deoarece unul din aspecte dispare în măsura în care celălalt apare. S-a ajuns chiar să se afirme că particulele sunt entităţi fizice care iau pe rând aspectul corpuscular şi aspectul ondulatoriu. Expunând ideile Şcolii de la Copenhaga, m-am lăsat eu însumi ispitit de reproducerea unora din aceste afirmaţii, astăzi însă îndelungatele mele reflecţii asupra acestui subiect mă conduc a crede că ele sunt complet inexacte. Într-adevăr, să examinăm înregistrarea pe o placă fotografică a franjelor de interferenţe pe care ştim acum să le obţinem tot atât de bine cu electroni ca şi cu fotoni. S-a putut verifica că incidenţa unei particule într-un punct al plăcii declanşează un mic fenomen local de ionizare provocând apariţia unei pete negre pe negativ, însă observarea franj celor de interferenţe cere ca un număr foarte mare de particule să fi ajuns pe placă, deoarece apariţia franjelor rezultă nu direct din incidenţele individuale, ci din repartiţia statistică a acestor incidenţe pe placă. Se observă deci, în cursul experienţei, în acelaşi timp aspectul corpuscular, datorită faptului că impresiunile locale, ca de altfel orice fenomen observabil, rezultă din incidenţa unei particule într-un punct, şi aspectul ondulatoriu, datorită faptului că repartiţia statistică a particulelor în spaţiu este reglată de propagarea undei. Nu este deci exact să se spună că unul din fenomene nu se poate produce decât în absenţa celuilalt şi e şi mai greşit să se spună că există o aceeaşi entitate fizică ce se prezintă când sub aspect corpuscular, când sub aspect ondulatoriu.

Un alt punct asupra căruia este util să atragem atenţia e faptul că pentru majoritatea teoreticienilor actuali unda (sau cel puţin ceea ce rămâne din ea în concepţiile lor) este aproape totdeauna considerată ca o undă plană monocromatică având o frecvenţă bine

determinată, ceea ce permite să i se atribuie particulei (sau cel puţin ceea ce rămâne din ea în acest mod de a vedea) o energie bine determinată de relaţia cuantei ltv = h v. Or, nu mi se pare îndoielnic ca într-o teorie a undelor exactă din punct de vedere fizic să nu existe niciodată unda plana monocromatică, deoarece ea ar avea o durată în timp şi o extensiune în spaţiu amândouă infinite, ceea ce nu e de conceput. În realitate avem totdeauna de-a face cu grupuri de unde a căror emisie are un început şi un sfârşit şi ştim foarte bine că un asemenea grup de unde are totdeauna o lărgime spectrală 8 v aproximativ egală cu inversul duratei sale de emisie – r, astfel încât el nu este niciodată strict monocromatic.

Considerarea exclusivă a undelor monocromatice conduce la o altă concepţie care mi se pare eronată. Dacă se ia în considerare o mărime care poate fi reprezentată, în maniera lui Fourier, printr-o superpoziţie de componente monocromatice, superpoziţia e aceea care are un sens fizic, iar nu componentele lui Fourier considerate izolat. Dacă, de exemplu, avem de-a face cu o coardă vibrantă, a cărei mişcare poate fi reprezentată printr-o superpoziţie de armonice, filmul acestei mişcări ne va arăta că în fiecare moment coarda are o formă foarte complicată care variază neîncetat în cursul timpului, pe baza unei legi complexe. În această mişcare nimic nu ne permite să distingem diversele componente monol Tomatice: aceste componente nu există decât în mintea teoreticienilor, care caută să facă o analiză abstractă a acestei mişcări şi ele nu ar căpăta o existenţă fizică decât dacă s-ar izbuti izolarea lor printr-o operaţie care, evident, ar rupe superpoziţia. De altfel, toată teoria interferentelor ar fi inexactă dacă nu ar fi aşa. Ideea

că componentele monocromatice au o existenţă reală în procesul fizic care rezultă din superpoziţia lor mi se pare o idee greşită care viciază o parte a raţionamentelor teoretice actualmente uzuale în

fizica cuantică, dar nu pot expune aici toate consecinţele pe care această iluzie le-a putut antrena.

Pentru a termina, aş dori să mai spun câteva cuvinte în legătură cu „teoria cuantică a câmpurilor”, care a reuşit, cu vreo 20 de ani în urmă, să furnizeze o explicaţie a câtorva rezultate experimentale remarcabile, care a cunoscut apoi o foarte mare vogă, dar la ora actuală pare să fi intrat într-o perioadă de sterilitate. În forma sa cea mai naturală teoria cuantică a câmpurilor face să intervină corpuscul i i (fotonii în cazul luminii) introducând noţiunea de „număr de ocupare”. Numărul de ocupare al unei unde plane monocromatice este, în fond, numărul de corpusculi pe care ea îi transportă. Se va observa că această definit le este foarte clară dacă se admite că o undă transportă întotdeauna un număr, fireşte întreg, de corpusculi localizaţi, dar că devine foarte obscură dacă nu se mai vrea să se admită imaginea corpusculilor localizaţi. Abandonând apoi ceea ce rămânea ca sens fizic în concepţia anterioară a undei o/, teoria cu an tică a câmpurilor împinge abstracţia până la considerarea amplitudini i unei unde monocromatice nu ca o

W W. ((w mărime numerică, ci ca un „operator care operează în spaţiul discontinuu al numerelor de ocupare. Proprietăţile de comutare ale acestor operatori constituie esenţialul formalismului acestei teorii, despre care este într-adevăr aproape imposibil să credem că poate să ne furnizeze o veritabilă reprezentare a realităţii fizice. Cu toate acestea se scot din ea un fel de „re te te „care permit în multe

*» /-y w cazuri previziuni statistice exacte. Cu toată voga pe care o are încă, mie personal mi se pare cert că teoria cuantică a câmpurilor va fi într-o bunţi zi înlocuită printr-o reprezentare mult ni ai p r o fund a şi mult mai exactă a proceselor inicrofizice. La sfârşitul uneia dintre ultimele reeditări ale cări îi sale The Meaning of Relativily, Einstein, făcând aluzie la teoria cuantică a câmpurilor, scri a: „Actualmente prevalează o p mi ci că teoria câmpurilor tre’ huie mai întâi transformată prin cuantificare într-o

teorie sta t is t i că după reguli mai inull sau mai puţin bine stabilite. Nu văd în această melodii., decât o încercare de a explica relaţii care au un caracter ni! liniar cu ajutorul unei teorii liniare”. Concluzia lui Einstein mi se pare a fi cu totul în acord cu ansamblul ideilor pp care le-am dezvoltat în act astă expunere.

Concluzia mea va fi deci că interpretările actuale ale fizicii cuantice vor trebui să fie înlocuite în viitor prin idei teoretice care ne vor da imagini mai complete şi mai clare ale realităţii microfizice. Cred că teoria dublei soluţii şi termodinamica ascunsă

1

a particulelor, chiar sub forma lor actuală, desigur încă i ruperfectă, ne oferă de pe acum o idee a ceea ce ar putea fi fizica cuantică de mâine.

Descoperirile uimitoare care, de o jumătate de secol, s-au înmulţit într-un mod atât de prodigios, au îndemnat pe teoreticienii fizicii să construiască formalisme relativ simple, care să le permită să traducă faptele experimentale şi să le prevadă cu o anumită siguranţă. Acest lucru era legitim şi practic foarte util. Însă obişnuinţa de a folosi cu precizie şi ingeniozitate „reţete” cu caracter pur formal, cred că i-a făcut să uite cam prea mult că dorinţa de a înţelege şi de a-şi reprezenta clar realitatea fizică a fost totdeauna şi va rămâne fără îndoială totdeauna scopul cel mai înalt şi efortul în cele din urmă cel mai fructuos al cercetării ştiinţifice funda, 1

mentale.

De câţiva ani cunoştinţele noastre asupra numărului, a proprietăţilor şi a avatarurilor particulelor au crescut neîncetat în mod prodigios. Dacă ideile pe care le-am schiţat sunt exacte, orice particulă şi unda care o poartă ar emerge, s-ar putea spune, în universul inicrofizic observabil, la „suprafaţa” mediului subcuantic, enorm rezervor de energie ascunsă. Evoluţia şi interacţiunile particulelor observabile, transformările posibile ale unora în altele, apariţia şi dispariţia fotonilor, toate acestea ne vor apărea poate într-o bună zi ca rezultatul la nivel

microfizic, pe care îl putem observa indirect, al tuturor imenselor posibilităţi pe care le deţine mediul subcuantic.

1\l-am gândit să pun ca epigraf la prezenta expunere următoarea frază curioasă: „Izvorul dezaprobă aproape întotdeauna itinerarul fluviului”, pe al cărei autor nu-l cunosc. Într-adevăr, Planck, Einstein, Schrödinger şi eu însumi nu am dezaprobat oare noi totdeauna, mai mult sau mai puţin, modul în care au fost interpretate fizica cuantelor, coexistenţa undelor şi particulelor şi mecanica ondulatorie, aceste fluvii imense care îşi au izvorul în lucrările noastre?

Expuneri ştiinţifice recente

1961 – 1965

FENOMENELE FOTOELECTRICE

Fizicienii au ezitat mult timp între o reprezentare corpusculară şi o reprezentare ondulatorie a lui itinii. La începutul secolului al XI X-lea, în urina lucrărilor lui Augustin Fresnel, toţi s-au raliat în

O *9

cele din urmă reprezentării ondulatorii care, reinterpretată convenabil, a fost apoi încorporată în teoria electromagnetică a lui Maxwell.

— Succesele repurtate de teoria ondulatorie a luminii în previziunea detaliată a tuturor fenomenelor celor mai fine ale optic îi fizice duseseră la abandonarea completă de către ştiinţa de la sfârşitul secolului al XI X-lea a oricărei idei privind constituţia granulară a luminii.

Descoperirea de către l-Icrtz, în 1887, a efectului fotoelectric a stat la originea unei anumite întoarceri la concepţia unei structuri discontinue a luminii. Efectul fotoelectric constă în esenţă în faptul că o lamă metalică iradiată de lumina cu o lungime de undă destul de scurtă este susceptibilă de a emite în exterior electroni, numi ti adeseori

7 9

fotoelectroni. Studiul efectului fotoelectric a evidenţiat treptat următoarele trei fapte: 1) un metal lovit de o radiatic monocromatică de frecventa v nu emite

fotoelectroni decât dacă frecvent a v este superioară unei frecvenţe de prag v0 caracter is t i că ni 1 a inini; 2) p nr. g i ac i ne L i că a e 1 e e t roni 1 or omişi, pe care o voni desemna prin T, erecte propriiţional cu diferenţa v – v0 dintre frecvenţa radiaţiei incidente şi frecvenţa de prag, astfel încât se obţine o relaţie de forma

T = h (v-Vo) = h v-W0 (cu W0 = h v0)

unde h este o constantă a cărei valoare numerică, atunci când a putut fi măsurată exact, s-a dovedit egală cu aceea a faimoasei constante h introdusă de Planck în teoria radiaţiei corpului negru datorită ipotezei cuantelor; 3) numărul electronilor emişi pe secundă este proporţional cu intensitatea undei luminoase incidente.

Imposibilitatea de a interpreta aceste trei legi experimentale cu ajutorul concepţiilor clasice ale teoriei ondulatorii a luminii l-a determinat pe Albert Einstein în 1905 să reintroducă o structură discontinuă a radiaţiilor sub forma nouă a ipotezei „cuantelor de lumină”. Inspirându-se din ideile lui Planck asupra cuantelor, Einstein admite că în orice undă luminoasă de frecvenţa v energia este concentrată în corpusculi de energie hv, unde h este constanta lui Planck; Einstein numea aceşti corpusculi „cuante de lumină”, noi le numim astăzi fotoni. Iată cum, cu ajutorul ipotezei sale, Einstein a putut interpreta legile efectului fotoelectric. Electronii liberi de conducţie, care sunt conţinuţi într-un metal şi care explică proprietăţile lui de conductor, nu pot ieşi în exterior decât dacă cheltuiesc un anumit lucru de ieşire WOI caracteristic pentru metalul considerat. Putem astfel defini pentru fiecare metal o frecvenţă de prag Vo prin re 1 ăştia

1 O

În care h este constanta lui Planck. Dacă un foton de energie h v ajunge pe un metal, el va putea ceda energia lui unui electron liber, dar acest electron nu va putea, evident, să fie emis în exteriorul metalului decât dacă vom avea h v IVO, adică v Vo-Astfel este explicată prima lege experimentală a efectului fotoelectric relativă la existenţa unei frecvenţe de prag caracteristice pentru metatal

fotoemuiv. În plus, dacă – v este superioară lui v0, electronul va ieşi din metal cu o energie cinetică T egală cu hv-W0 = h (vv0) şi astfel este dedusă foarte simplu a doua lege experimentală a efectului fotoelectric. În ceea ce priveşte a treia lege experimentală, ea rezultă din faptul că întâlnirea între un foton incident şi un electron liber al metalului este un fenomen individual cu caracter aleator.

Existenţa fotonilor, pe care interpretarea de către Einstein a legilor efectului fotoelectric părea deja să o facă certă, a fost confirmată prin descoperirea ulterioară a efectului Compton şi a efectului Rămân, apoi prin toate dezvoltările succesive ale fizicii cuantice contemporane. Ea a demonstrat existenţa unui dublu aspect, corpuscular şi ondulatoriu totodată, al luminii şi al tuturor radiat iilor. Mai târziu, mecanica ondulatorie a venit să ne arate că acest dublu aspect există pentru electroni şi pentru toate particulele scării atomice. Deşi formalismele folosite actualmente în fizica cuantică traduc în mod satisfăcător acest dublu aspect, nu este poate sigur că ele ne fac să pătrundem veritabila natură fizică a acestuia.

Efectul fotoelectric prezintă, precum am văzut adineauri, un interes considerabil din punctul de vedere al concepţiilor generale ale fizicii teoretice, dar el se pretează şi la un foarte mare număr de aplicaţii tehnice dintre cele mai importante. Dispozitivul cel mai folosit în aceste aplicaţii este celula fotoelectrică. Ea este constituită dintr-un balon de sticlă vid sau umplut cu gaz, în care se află un catod fotoemisiv susceptibil să emită electroni când este lovit de o lumină de frecventă suficient de înaltă: în balon se află de asemenea un anod adus la o tensiune pozitivă în raport cu fotocatodul, astfel încât fluxul electronilor se închide în exteriorul celulei mergând de la anod la catod. Fotocatodul este întotdeauna constituit dintr-un strat de metal alcalin depus pe un suport şi uneori aliat cu un alt inctal: prepararea acestor fotucatozi este o tehnică externi de delicată. În fund ic de natura metalului alcalin fotoemiţător, frecventa de prag este mai mult sau mai puţin ridicată. Anumite celule îşi au frecvenţa de prag

situată spre extremitatea violetă a spectrului şi ele nu funcţionează decât în violet sau ultraviolet: – altele, cum sunt cele foarte uzuale în care fotocatodul este format dintr-un strat de cesiu depus pe un suport de oxid de argint, au o frecvenţă de prag mai joasă şi funcţionează aproape în întreg spectrul vizibil; e posibil chiar, cu ajutorul anumitor artificii, să se obţină celule cu cesiu a căror frecvenţă de prag este şi mai joasă şi care funcţionează deja în infraroşul apropiat.

Nu putem enumera aici multiplele aplicaţii ale celulelor fotoelectrice. Vom reaminti numai că ele sunt foarte utilizate pentru măsurarea şi compararea intensităţilor luminoase şi că, prin procedee care derivă toate din iconoscopul lui Zvorîkin, ele joacă un rol esenţial în transmiterea imaginilor prin televiziune.

Curentul obţinut direct cu ajutorul unei celule fotoelectrice este întotdeauna destul de slab, în general de ordinul a câţiva microamperi pe lunicn, şi nu poate depăşi circa două sute cincizeci de microamperi pe lumen în cazurile cele mai favorabile. Dar, proiectând fotoelectronii produşi de o celulă asupra unui multiplicator de electroni, se poate obţine o amplificare a curentului electronic, care poate atinge sau depăşi un milion. Această combinaţie a celulei fotoelectrice şi a multiplicatorului de electroni permite astfel să se pună în evidenţă incidenţa unei lumini extraordinar de slabe care, fără acest dispozitiv, ar scăpa oricărei observaţii. Tot folosirea acestei combinaţii, asociată cu diversele artificii preluate din optica electronică, i-a permis lui André Lallemand să realizeze telescopul său electronic şi să efectueze astfel cu telescoape de dimensiuni mijlocii observaţii foarte frumoase care, altfel, nu ar fi fost posibile decât cu ajutorul

«unor instrumente mult mai puternice şi mai costisitoare.

Funelionarea celulelor fotoclecirice despre care am vorbit se bazează pe efectul fo’ loelcc Lric aşa cum a fost el definit mai sus. Se airibuie de asemenea denumirea de

celule fotoelectrice (ceea ce creează puţină confuzie) şi altor dispozitive a căror funcţionare ţine de alte fenomene legate de proprietăţile semiconductorilor. Acestea sunt, pe de o parte, pilele fotoelectrice care folosesc efectul fotovohaic şi, pe de altă parte, celulele fotoconductoare.

În semiconductori electronii deţin stări de energie foarte puternic legate de structura corpului, dar aceşti electroni sunt susceptibili să treacă destul de uşor în stări mult mai puţin legate în care pl devin electroni de conducţie, în timp ce în stările legate apar lipsuri de electroni, „goluri”. Aceste împrejurări fac ca semiconductorul să fie mult mai rezistent decât un conductor şi mult mai puţin rezistent decât un izolator. Când un semiconductor este iluminat, fotonii incidenţi, producând un fel de efect fotoelectric intern, pot provoca trecerea anumitor electroni dintr-o stare foarte legată într-o stare mai liberă şi să modifice astfel proprietăţile electrice ale semiconductorului.

Efectul fotovoltaic folosit în fotopile constă în următorul fapt: când un strat subţire al unui semiconductor, cum e seleniul, se află în contact cu un metal care îi serveşte ca suport, o radiaţie incidentă provoacă, prin efectul fotoelectric intern despre care am vorbit adineauri, apariţia între semiconductor şi metal a unei diferenţe de po tenţial astfel încât ansamblul dispozitivului poate juca rolul unei pile care funcţionează sub acţiunea lu’ mânii. O pilă fotoelectrică bună pe bază de seleniu poate furniza în circuitul său exterior un curent de ordinul unui miliamper pe lumen şi are a-l fel un randament sensibil superior aceluia al celu le lor fotoemisive studiate mai înainte. Pilele fotoelecirice au căpătat numeroase aplicaţii practice care se bazează în general pe principiul următor: o pilă fotoelectrică iluminată de un fascicol de lumi nă care debitează un curent continuu în circuitul său exterior, dacă un corp opac întrerupe fasciculul de lumină, curentul debitat de pilă se anulează şi această variaţie de curent poate fi folosită pentru scopurile pe care ni le propunem. Una dintre

aplicaţiile cele mai cunoscute ale pilelor fotoelectrice este punerea în mişcare automată, în anumite staţii ale metroului, a scărilor rulante atunci e înd

9 7

O persoană se prezintă la capătul uneia din aceste scări.

Din explicaţiile date mai sus rezultă că, dacă un semiconductor este supus acţiunii luminii, conductivitatea sa creşte. Acesta este principiul celulelor fotoconductoare. Dacă o celulă fotoconductoare pe bază de seleniu este intercalată într-un circuit branşat la bornele unui electromotor şi-s trăbătut de un curent electric, acest curent va varia după cum celula e mai mult sau mai puţin luminată. Celulele fotoconductoare au şi ele numeroase aplicaţii şi servesc în special, încinematog raful sonor, la „citirea" cuvintelor înregistrate sub forma

A * * 1". w unei mnegriri variabile pe „pista sonoră care însoţeşte filmul.

1

Din exemplele date se vede cât de numeroase şi importante sunt aplicaţiile practice ale diverselor feluri de fenomene fotoelectrice care rezultă toate din existenta fotonilor.

DISPOZITIVE CU SEMICONDUCTOR![16]

Domnule ministru, doamnelor, domnilor.

n toate domeniile de aplicaţii ale ştiinţei, cercetările ştiinţei fundamentale şi realizările tehnicii au fost întotdeauna strâns legate şi şi-au furnizat reciproc în mod constant concepţiile şi dispozitivele fără de care ele nu ar fi putut progresa. Acest lucru apare cu deosebire vizibil în domeniul care va face obiectul lucrărilor Colocviului internaţional

1

ce se deschide astăzi. Studierea şi folosirea proprietăţilor semiconductorilor s-au dezvoltat foarte rapid

16 Discurs ţinut la şedinţa de deschidere a Colocviului asupra semiconductorilor (20 februarie 1961).

de circa 15 ani datorită unei colaborări deosebit de fecunde a efortului ştiin-tific şi a efortului tehnic. De aceea este interesant să facem, în această primă şedinţă a colocviului dumneavoastră, un scurt istoric al dezvoltării fizicii semiconductorilor.

Chiar de la începuturile ştiinţei moderne a electricităţii s-a observat că existau două categorii de corpuri care se opuneau clar unul altuia în ceea ce priveşte aptitudinea lor de a se lăsa străbătute de curentul electric: pe de o parte, conductorii, pe de alla – izolatorii. Conductorii, printre care metalele uzuale, cum e cuprul, sunt exemple tipice, au o rezistivitate foarte slabă, de ordinul câtorva milio

*11** A*

nimic de ohmi-centiinetru, în timp ce rezistivitatea izolatorilor atinge uşor 1015 ohmi-centimetru. Între aceste două categorii de corpuri cu proprietăţi de conducţie electrică atât de opuse, există intermediari ca germaniul, siliciul ele., ale căror rezistivităţi pot varia de la câţiva ohmi-centimetru la câteva milioane de ohmi-centimetru. Aceste corpuri, fală de care multă vreme electricienii manifestau prea puţin interes, sunt semiconductorii, astăzi la loc de onoare.

Când, la sfârşitul ultimului veac, fizicienii au căutat să interpreteze trecerea electricităţii prin corpurile conductoare, ei au recurs la teoria electronilor pe care H.A. Lorentz o dezvoltase de curând, pe baze ce păreau foarte satisfăcătoare. Experienţa dovedise existenţa unor electroni negativi şi începuse să se ştie că a toni îi erau edificii conţinând e lectroni la periferia lor. În acest caz era ispititor să se presupună că în nic talele conductoare electronii cei mai periferici ai atomilor, aceia care astăzi sunt denumiţi „electroni de valenţă”, sunt susceptibili să evadeze cu uşurinţă din atonii şi să formeze în interiorul structurii metalului un fel de „gaz de electroni liberi”, căruia i se putea aplica mecanica statistică a lui Boltzmann-Gibbs ce-şi demonstrase cu atâta strălucire valoarea în teoria cinetică a gazelor. Dacă în metal nu

există niciun câmp electric, electronii vor fi animaţi de o agitalie termică proporţională cu temperatura metalului, dar întotdeauna complet dezordonată de aici nu va rezulta nicio mişcare de ansamblu a electronilor, deci niciun curent în conductor. Dacă, dimpotrivă, conductorul este supus unui cânip electric, o mişcare de ans-nblu se va suprapune mişcării de agitaţie dezordonată a elec! ronilor şi

9 O 9 9

va apărea un curent electric. Tocmai pe baza acestor idei Drude şi, mai riguros, Lorentz însuşi au construit, în urmă cu peste o jumătate de secol, teoria electronică a metalelor. Ea explica conductibilitatea electrică, precum şi conductibilitatea termică a metalelor şi interpreta câteva aspecte ale acestor fenomene, dar se lovea totuşi de grave dificultăţi în privinţa valorii căldurilor specifice ale mrlal lor şi a formei exacte a legii Wierlemnnnrp

Franz. Aveai impresia că ideea de a explica coniluctibilitatea conductorilor prin depl a sări de e loc te om prin’s truclura acestor a era exactă, dar că teoria lui Drude-Lorentz nu era încă decât o a p roxim are destul de rudimentară.

n jurul anului 1930 dezvolt area mecanicii onduatorii şi descoperire a principi ului de excluziu ne al lui Pau li şi a statist icii lui Fermi-Dirac legată de acesta au dat teoriei conductibilităt îi met ale lor orientare cu tolul nouă. Sommerfeld e cel care a observat atunci că electronii, fiind fermioni, ascultă de statistica lui Fermi-Dirac şi că, în condi

$ /

Iile uzuale de temperatură, electronii liberi dintr-un metal sunt într-o stare de „degenerescentă –, astfel încât folosirea statisticii clasice a lui Boltzmann-Gibbs în teoria electronică a metalelor nu este deloc justificată. Ace astă teorie trebuia deci reluată substituind statisticii clasice pe aceea a lui Fermi-Dirac şi a’s t fel Sommerfeld şi primii săi continuatori au putut ameliora considerabil vechea teorie a lui Drude-Lorentz.

Dar, chiar şi aşa, problema nu era încă tratată în toată complexitatea ei şi nu apărea limpede cum se opera trecerea de la izolatori la conductori. Pentru a putea înainta mai departe, aici a trebuit să se intervină cu concepţiile mecanicii ondulatorii. Într-adev ar, într-un corp cu structură cristalină atomii sunt repartizaţi uniform în reţeaua cristalină şi, dacă electronii de valenţă care eva→. 9

deză din structura internă a atomilor devin electroni liberi, atomii rămaşi, care sunt electrizaşi

* * pozitiv, creează în interiorul corpului un potenţial periodic în sânul căruia se pot deplasa electronii liberi. Dar, conform ideilor mecanicii ondulatorii, în işc are a acest or electroni liberi depinde de propagarea undei lor asociate şi în acest caz se pune problema de a determina soluţiile ecuaţiei de unde a lui Schrödinger într-un mediu cristalizat, în care potenţialul variază periodic în spaţiu. Studiul acestei probleme complicate a condus la următoarele concluzii: există intervale de valoare ale frecyentei undei, adică ale energiei electronului asociat, pentru care propagarea undei în mediul cristalizat este posibilă, dar există şi intervale de valoare ale energiei electronului pentru care propagarea undei este imposibilă. Există, aşadar, pentru energia electronului „benzi" de valori „permise" şi benzi de valori „interzise". Această teorie a fost studiată foarte aprofundat de Leon Brillouin în Franţa şi de aceea pe bună dreptate i se atribuie numele de „teoria zonelor a lui Brillouin".

Consideraţiile pe care le-am schiţat mai sus au permis să se interpreteze într-un mod mult mai precis proprietăţile de conductibilitate ale conductorilor şi izolatorilor. Într-adevăr, electronii de valenţă care au scăpat din legăturile atomice vin în mod normal să ocupe banda permisă de energie minimă care, din acest motiv, este denumită „bandă de valenţă". Deasupra acestei benzi de valenţă

A piw 1 1 w. * w în scara energiilor se află o bandă interzisă, mai mult sau mai puţin largă, în funcţie de

natura corpului considerat, apoi, deasupra acestei benzi interzise, o nouă bandă permisă care e denumită

„Bandă de conducţie”. Într-un corp în care agitaţia termică este foarte slabă (ea ar fi riguros nulă la zero absolut), toţi electronii de valenţă se plasează în banda de valentă care este astfel saturată: se poate demonstra că, dacă în corp este creat atunci un câmp electric, nu rezultă de aici nicio mişcare de ansamblu a electronilor, astfel încât corpul, chiar dacă aparţine categoriei conductorilor, se comportă ca un izolator. Dar, dacă temperatura să i w i ridică, unii electroni vor putea, prin excitaţie termică, să părăsească banda de valenţă, să treacă peste banda interzisă şi să ajungă în banda de conducţie. Electronii care vor fi trecut astfel în banda de conducţie vor lăsa pe banda de valenţă locuri libere, viduri, denumite „goluri”, şi se demonstrează că aceste „goluri” se comportă exact ca nişte electroni a căror sarcină pozitivă ar fi egală şi opusă aceleia a electronului real. Dacă atunci în corp se stabileşte un câmp electric, electronii din banda de conducţie vor fi atraşi într-un

1

sens, golurile din banda de valenţă în celălalt sens şi, în principiu, trebuie să apară un curent electric.

Cum ne permU aceste concepţii noi să interpretăm deosebirea dintre proprietăţile conductorilor şi ale izolatorilor? Pentru aceasta, trebuie să remarcăm că banda interzisă care desparte banda de valenţă de banda de conducţie poate, în funcţie de natura corpului, să fie mai mult sau mai puţin largă. Pentru anumite corpuri ea va fi foarte îngustă şi va corespunde, de exemplu, unei mici fracţiuni de electron-volt. În acest caz, chiar la o temperatură puţin ridicată, mulţi electroni vor putea traversa, datorită efectului termic, această bandă interzisă şi atinge banda de conducţie determinând astfel apariţia golurilor în banda de valenţă: sub influenţa unei diferenţe de potenţial chiar slabe, se va produce un curent, prin urmare corpul este un conductor. În alte corpuri banda interzisă va fi foarte largă, grosimea ei putând atinge

câţiva electron-volţi: practic niciun electron nu va putea traversa, datorită efectului termic, această largă zonă interzisă şi, chiar dacă e supus unei diferenţe de potenţial ridicate, corpul nu va putea lăsa să treacă niciun curent apreciabil: el va fi deci un izolator.

Ca urmare, e uşor de imaginat un caz intermediar care să corespundă existenţei semiconductorilor, cum ar fi oxidul cupros, germaniul, seleniul, siliciul etc. Pentru aceste corpuri banda interzisă nu este nici foarte îngustă, nici foarte largă, deoarece grosimea ei este de ordinul unui electron-volt: conductibilitatea lor este în acest caz mult mai slabă decât aceea a conductorilor, fiind totodată mult mai mare decât aceea a izolatorilor. Totuşi, dacă semiconductorul este foarte pur (se spune atunci că avem de-a face cu un semiconductor intrinsec), conductibilitatea rămâne foarte slabă şi din acest motiv proprietăţile acestor corpuri nu au reţinut la început decât destul de puţin atenţia fizicienilor şi tehnicienilor.

Situaţia s-a schimbat în urina ultimului război.

9 7

În cursul căruia trebuiau folosite, în special în dispozitivele radar, emisiuni radioelectrice de foarte înal tă frecvenţă. Or, se ştie că pentru emisia, amplificarea şi detectarea frecvenţelor foarte înalte folosirea tuburilor clasice cu ni ai mulţi

A >

electrozi devine foarte grea, dacă nu imposibilă. În consecinţă a fost necesar să se folosească pentru redresarea, în postul receptor, a oscilaţiilor dr foarte înaltă frecvenţă un dispozitiv comporând un cristal de siliciu pe care se sprijină puternic un vârf inetalic. Folosirea acestui disp ozi tiv constituie una din acele curioase reveniri în urmă care au fost destul de frecvent observate în istoria radioelectricităţii în decurs de 70 de ani, deoarece acest gen de redresor prezintă o mare analogie cu bătrâna „galenă” care era folosită în mod curent în a paratele de radiorccepţie pe la 19J O şi care a lăsa t în memoria

oamenilor din generaţia mea amintiri foarte vechi. Folosirea detectorului cu siliciu n readus, fără îndoială, în atenţia fizicienilor şi te hn i – „7 9 9

elenilor posibilitatea de a obţine cu semiconductori dispozitive redresoare analoge diodei lui Fleming şi, la modul mai general, perspectivele pe care le putea deschide înlocuirea tuburilor clasice cu mai mulţi electrozi prin dispozitive cu semiconductori.

Dar, precum am mai men tionat, seni iconductorii riguros puri au o conductibililate inirinsecă destul de slabă şi nu prezintă un interes deosebit. Nu acelaşi lucru se întâmplă cu semieonduel ori în oare sunt introduse în can tit a ti i nfini 1 eziniale, dar foarte exact dozate, „impurităţi”, adică atomi care nu apari în structurii cristaline norma 1 ra semiconductorului. Dacă aceşti atomi sunt susceptibili de a ceda cu uşurintă unul dintre e lectronii lor semiconductorului, ceea ce penim semiconduclorii uzuali cum sunt germaniul sau siliciul este cazul atomilor de azot, de fosfor, de arsen, de antimoniu, electronii cedaţi structurii cristalului de către arrsti

1 9

atomi „donori” ating cu n şi un n tă banda de conducţie, jur semiconductorul, care conţine numeroşi

7 9 9

electroni în banda sa de conducţie. prezintă o conductibilitate relativ mare: 1 avem de-a face în acest caz cu un semiconductor de tipul n în care elecA v * «-wv v tronii sunt purtătorii sarcinii majoritare. Dacă, dimpotrivă, atomii de impuritate introduşi în semiconductor sunt susceptibili de a-şi încorpora cu uşurinţă electroni venind din exterior (atomi

9!

„Acceptori”), ceea ce e cazul] a semiconductorii uzuali pentru bor, aluminiu, galiu, indiu etc., aceşti atomi de impuritate vor sustrage cu uşurinia electroni benzii de valentă şi vor determina în ea apariţia unui mare număr de „goluri” echivalente unor sarcini pozitive care vor putea să se deplaseze uşor în banda de valentă: semiconductorul va

prezenta şi în acest caz o conductibilitate relativ mare, dar acesta va fi un semiconductor de tipul p în care purtătorii sarcinii majoritare vor fi „golurile” echivalente unor sarcini pozitive. Astfel sunt interprtate proprietăţile celor două tipuri n şi p de semiconductori într-un mod care a ghidat întreaga dezvoltare a tehnicii în acest domeniu.

Suntem acum în măsură să interpretăm o diferenţă de proprietăţi între conductori şi semiconductori, diferenţă despre care nu am vorbit până acum. Pentru aceste două categorii de corpuri conductibilităţile nu numai că sunt de un ordin de mărime foarte diferit, dar, în afară de aceasta, variază într-un mod cu totul opus în raport cu temperatura. După regula clasică, rezistenţa unui conductor creste destul de puternic odată cu temperatura; din contră, rezistenţa unui semiconductor scade foarte repede când temperatura sa creşte. De unde vine această diferenţă flagrantă a variat iei termice a conductibilităţilor? Aceeaşi a se constată uşor în felul următor. În cazul unui conductor, creşterea temperaturii, provocând trecerea electronilor din banda de valentă în handa de conducţie, măreşte numărul electronilor în cea

9

dintâi şi numărul „golurilor” în cea de-a doua, ceea ce înlesneşte trecerea curentului electric; dar, în acelaşi timp, creşterea agitaţiei termice creează un obstacol pentru mişcarea de ansamblu a purtaorilor de sarcină, ceea ce 1 indfA să sporească rezistenţa şi, întrucât acest al doilea efect îl depăşeşte pe primul, rezistenţa conductorului creşte odată cu temperatura. În cazul semiconductorilor, creşterea agitaţiei termice odată cu temperatura tinde de asemenea, ca şi în cazul precedent, să mărească rezistenţa; aici însă cedarea de electroni de către atomii „donori” benzii de conducţie sau captarea de electroni de către atomii „acceptori” în detrimentul benzii de valenţă, care corespund unor tranziţii de diferenţă mică de energie, sunt considerabil mărite prin ridicarea temperaturii şi, întrucât acest al doilea efect îl depăşeşte mult pe primul, rezistenţa semiconductorului descreşte

rapid când temperatura se ridică. Variaţia rapidă a rezistenţei semiconductorilor în funcţie de temperatură a dat naştere tehnicii „termistorilor”, ale căror numeroase utilizări nu le voi menţiona aici.

„Termistorii” nu sunt decât una dintre categoriile, foarte numeroase de dispozitive, care folosesc astăzi semiconductori. Printre aceste dispozitive cele mai importante sunt fără îndoială „tranzistorii”. Tranzistori cu vârf, tranzistori-joncţiune, de tipul pnp sau npn sau de tip şi mai complicat, au astăzi nenumărate aplicaţii în toate domeniile electronicii, şi anume în calculatoarele electronice şi în aparatele de radiorecepţie. Dispozitiv solid, foarte comod şi care nu necesită un curent de încălzire important, tranzistorul, în ciuda unor inconveniente pe care progresele tehnicii contribuie să le atenueze, tinde tot mai mult să înlocuiască în numeroase cazuri tuburile clasice cu mai mulţi electrozi care, atât de răspândite şi atât de bine puse la punct astăzi, încep cu toate acestea să piardă teren în favoarea minusculilor lor concurenţi: tranzistorul a făcut posibilă realizarea acelor aparate de radio portative cărora marele public, confundând partea cu întregul, le dă deseori greşit numele global de „tranzistori”.

Folosirea semiconductorilor a permis de asemenea realizarea nu numai a diodelor redresoare cum e detectorul cu siliciu, dar şi a redresoarelor formate prin contactul între un metal şi un semiconductor care permite redresarea unor curenţi variabili corespunzând unor puteri considerabile, iar aceasta este o aplicaţie remarcabilă a acestor dispozitive noi. Vom mai adăuga că studiul semiconductorilor a condus la o mai bună înţelegere şi la perfecţionarea pilelor fotoelectrice al căror prototip este pila fotoelectrică cu seleniu. În aceste „celule fotovoltaice” acţiunea luminii asupra unui semiconductor provoacă, printr-un fel de efect fotoelectric intern, deplasări de electroni care fac să apară o diferenţă de potenţial între acest semiconductor şi un metal cu care se află în contact: acest dispozitiv devine deci o pilă electrică sub acţiunea

luminii, ceea ce exprimă şi denumirea sa. Cunoaşteţi cu toţii foarte numeroasele aplicaţii ale pilei fotoelectrice.

Nu voi insista mai mult asupra diverselor ramuri ale tehnicii semiconductorilor, lucru ce ar fi, desigur, inutil în faţa unei reuniuni de specialişti care mă ascultă, şi aş vrea să termin prezentând trei observaţii scurte pe care mi le-a sugerat pregătirea acestei alocuţiuni.

Revenind la o idee enunţată deja la începutul expunerii mele, voi sublinia mai întâi contribuţia esenţială pe care au adus-o în tehnica dispozitivelor cu semiconductori, ca şi în multe altele, cercetările şi progresele ştiinţei fundamentale: rezultatele pe care ea i le-a furnizat i-au călăuzit mereu. pe

— A 1 * ” 1 ” * w f W

Ingineri în realizările lor şi le-au permis să facă ceea ce nu ar fi putut face fără ea. S-a dovedit aici, odată mai mult, într-un mod deosebit de pregnant, cât de fecundă e colaborarea între ştiinţă şi industrie.

A doua observaţie care, fără să o contrazică pe cea dintâi, marchează unele limite ale ei, este următoarea. Nu este suficient să fi studiat ştiinţific o clasă de fenomene, să fi obţinut despre ele explicaţii şi imagini clare pentru a scoate de aici imediat aplicaţii industriale. Este necesară o muncă îndelungată şi adesea foarte grea pentru a trece de la primul stadiu la al doilea. Astfel, pentru a obţine tranzistori care să funcţioneze satisfăcător, trebuie pornit de la un semiconductor riguros pur şi trebuie introduse în el anuniite impurităţi în cantităţi infinitezimale şi dozate cu stricteţe. Acei care

11 t 11

au pus la punct această fabricaţie au avut de învins mari obstacole şi de suportat numeroase decepţii. Se poate spune că pentru astfel de realizări distanţa de la mână la gură e mare şi nu e suficient a concepe pentru a realiza, cel puţin dacă dorim să obţinem aplicaţii tehnice rentabile sub raport comercial.

În sfârşit, se poate menţiona locul pe care l-au ocupat, în tehnica semiconductorilor, anumito elemente

chimice rare în natură ca: – germaniul, indiul, galiul etc. Aceste elemente rare reţineau puţin atenţia cu o jumătate de veac în urmă. Ele erau considerate adesea ca nişte curiozităţi, obiecte de

c-ercetare pentru chimişti meticuloşi, iar fizicienii nu se interesau de ele decât pentru a completa conţinutul căsuţelor din seria periodică a elementelor. Astăzi, ca o consecinţă a noilor nevoi ale industriei, aceste elemente rare au devenit obiectul unor noi metalurgii, lucrându-se adeseori cu cantităţi de materie foarte mici.

Doamnelor, domnilor, nu – mi mai rămâne, în încheiere, decât să urez deplină reuşită colocviului dumneavoastră. Fie ca această reuniune, prin expunerile şi schimburile de idei care vor avea loc în cadrul ei, să poată provoca numeroase şi importante dezvoltări ale tinerei şi viguroasei tehnici a dispozitivelor cu semiconductori.

MECANICA ONDULATOR IE Ş 1 IVI ICROSCOP IA ELECTRONICĂ

Anul 1905 a fost unul din cei mai importanţi în istoria fizicii secolului al XX-lea, deoarece în acest an Albert Einstein, în vârstă de numai 25 de ani, nu numai că a creat teoria relativităţii şi a întreprins foarte importantele sale studii asupra mişcării browniene şi a fluctuaţiilor, dar a descoperit de asemenea dubla natură ondulatorie şi corpusculară a luminii. În a sa „teorie a cuantelor de lumină” (astăzi am spune „teoria fotonilor”), el a afirmat cu îndrăzneală că undele luminoase conţin concentrări de energie a căror localizare este determinată de propagarea undei. Această ipoteză, confirmată de îndată de o interpretare foarte simplă a efectului fotoelectric rămas până atunci misterios, a pus în cazul luminii redutabila problemă a coexistenţei undelor şi corpusculilor, a cărei veritabilă soluţie, cred la ora actuală, nu a fost încă dată de concepţiile general admise.

S-au scurs aproape douăzeci de ani de la geniala intuiţie a lui Einstein când, în septembrie 1923, în note din Comptes Rendus de l’Academie des Sciences de Paris, apoi

în 1924 în teza mea de doctorat, am propus extinderea ideii coexis Lenţ ci undelor şi corpusculilor la cazurile tuturor particulelor materiale şi îndeosebi la cazul electronilor. Această generalizare îndrăzneaţă m-a condus mai întâi la o întreagă serie de concluzii încurajatoare, iar importanţa ei a fost semnalată de Einstein însuşi la începutul anului 1925. Ea a fost apoi confirmată de lucrările lui Schrödinger în 1926, apoi pusă în afară de orice dubiu prin descoperirea fenomenului de difracţie a electronilor în 1927 (Davisson şi Germer, G.P. Thomson, Ponte). Astăzi au putut fi reproduse cu electroni şi cu alte particule toate fenomenele de difracţie şi de interferenţe care sunt clasice în optica ondulatorie.

Lăsând deoparte o expunere completă a consecinţelor mecanicii ondulatorii, trebuie să insistăm aici asupra uneia dintre cele mai importante din ele care se referă la mişcarea electronilor şi altor particule. Dacă propagarea undei asociate particulei poate fi descrisă cu ajutorul aproximării cunoscute sub numele de optică geometrică, putem asimila razele undei cu traiectoriile particulelor şi regăsim astfel vechea mecanică „punctuală” a particulelor, astfel încât putem practic să renunţăm la intervenţia undei. Aspectul ondulatoriu nu intervine decât atunci când optica geometrică nu mai e valabilă, adică atunci când propagarea undei face să apară fenomene de interferenţe sau de difracţie. În acest caz numai considerarea undei

poate permite o previziune statistică a localizărilor particulei. Vom preciza aceasta insistând în special asupra cazului electronului, deşi concluzii analoge sunt aplicabile tuturor particulelor.

De multă vreme dinamica punctuală a electronului, cu modificările la care teoria relativităţii a supus-o, permite să se prevadă că traiectoriile electronilor emişi de o sursă constituită practic dintr-un punct pot, după ce au traversat cânipuri electromagnetice potrivite, să se întretaie aproape exact, dând o „imagine” a sursei. De aici

decurge pentru electron o optică geometrică analogă cu aceea a luminii, în care câmpurile electromagnetice joacă rolul de medii refringente. Nimic nu indică însă în acest caz că s-ar pu Lea obţine astfel imagini mai interesante decât cele furnizate de instrumentele de optică obişnuite a căror tehnică este azi foarte perfecţionată. În domeniul validităţii dinamicii punctuale a electronului, putea deci să pară puţin interesantă folosirea dispozitivelor electronice greoaie şi complicate pentru a obţine cu electroni ceea ce se poate obţine în condiţii mai bune cu lumina.

Apariţia mecanicii ondulatorii a schimbat complet această situaţie. Într-adevăr, în op ti ca o b i şi –nuită, aplicare a regulilor o p ti cu geometrice permite să se prevadă aproximativ natura imaginilor pe care lumina, după ce a traversat mediile refrin

* * i w gente care constituie un instrument de optică, cum ar fi un microscop, este susceptibilă să le furnizeze.]) ar dacă vrem să precizăm exact structura imaginilor şi să fi r Eve d em fineţea detaliilor pe care ele le permit a fi sesizate (adică ceea ce numim puterea de separare a instrumentului), trebuie să ne adresăm opticii ondulatorii pentru a dete-ina r epartiţia luminii, deci a fotonilor, pe i în a gine, fără a ne limita să ne servim de optica geometrică şi de noţiunea aproximativă de raze luminoase pe care o foloseşte. Se observă atunci că valoarea lungimii de undă e aceea care determină în mod esenţial puterea de separare şi că aceasta nu permite să se sesizeze separat pe imagine două puncte ale obiectului a căror distantă este sensibil inferioară lunj gimii de undă. De aici rezultă că, folosind lumina vizibilă ale cărei lungimi de undă sunt de ordinul unei jumătăţi de miime de milimetru (sau O, 5 X X 10 – 4 cm), nu putem deloc sesiza de taliile structul! w r w rii unui obiect la o scară interioară unei zecimi de micron, sau 10 – 5 cm.

Aici însă mecanica ondulatorie ya introduce pentru electron ceva cu totul diferit. I ni r-adevăr, unda care transportă electronul şi care determină prin intensitatea ei localizările posibile ale acestui corpi uscul are o lungime

de undă care este lega tă de cantitatea de mişcare p a electronului prin faimoasa relaţie fundamentală a mecanicii ondulatorii.

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

Or, formula precedentă permite să se vadă că e uşor de obţinut, de exeniplu cu un tun electronic, electroni de mare viteză a căror lungime de undă să nu mai fie egală decât cu o fracţiune de Angstr Om (de ordinul a 10 – 9 cm). Se înţelege astfel că un microscop electronic, în e are im a ginile sunt obţinute prin focalizarea electronilor de mare viteză sub acţiune a unor câmpuri electrice sau magii etice a decvate, va putea permite observarea structurilor ale căror dimensiuni nu depăşesc ordinul de mărime al AngstrOm-ului, deci de aproape o mic de ori mai mici decât acelea pe care lumina ne permite să le explorăm. De aici rezultă că, în timp ce microscoapele optice ne permit cu greu să obţinem măriri depăşind 1.000, măririle care a Ling 30.000, 60.000 sau e hi ar mai mult sunt astăzi curente în optica electronică.

Vom reni arca de altfel că nimic nu pe împiedică să luăin în considerare, abstracţie făcând U.e dificultă

7 f tă ţi le de realizare, construirea de microscoape analoge microscopului electronic, folosind însă alte p articule încărcate decât e le cironi i, de exemm fb pl u protoni. I ntrucât. formula X = – arată ca, pen

u e cazul să expunem, în această scurtă privire de ansamblu, nici progresele şi aplicaţiile microscopiei electronice în ultiniii douăzeci de ani, nici fonrl o numeroasele cunoştinţe noi pe care ne-a permis st le dohândim. Ni se pare însă important şi „insisifim asupra următoarei concluzii: făcând să înlervină în teoria electronului misterioasa cooxis lentă a undelor şi corpusculilor descoperit îi de Einstein în cazul luminii, mecanica ondulatorie e singura care a putut permite să se sesizeze paralelismul complet care există între optica luminoasă şi opt ca electronică şi să se transpună în a ceas t a (lin urmă ştiinţă, sub o formă de altfel uneori ceva

9 7

mai corn plic a la toate calculele şi toate previziunile care erau clasice în cea dintâi, în special în ceea ce priveşte aberaţiile şi puterile de separare. De

www 1 11 w acera parc permis să se spună că ideea de bază a mecanicii ondulatorii conţinea în ea, încă de 1 a

9 /

apariţie, principiul microscopiei electronice şi al tuturor imenselor sale posibilităţi de aplicaţie.

LASERII ŞI IMPORTANŢA LOR TEORETICA

* i

Emisia spontană şi emisia provocată

În 1917, Albert Einstein, a cărui gândire puternică şi-a pus amprenta pe numeroase ramuri ale fizicii contemporane, publica o mică notă de o imensă însemnătate. În ea el scotea la iveală o relaţie, cu totul neaşteptată la acea epocă, între legea frecvenţelor a lui Bohr şi legea radiaţiei corpului negru a lui Planck, şi aceasta introducând deosebirea cu totul nouă între „emisiile spontane" şi „emisiile provocate" (sau stimulate).

Voni arăta mai întâi raţionamentul lui Einstein.

11

Teoria atomului a lui Bohr (1913) ne învăţase că atomii se află întotdeauna în stări staţionare cu energii cuantificate şi că emisia sau absorbt ia unei radiaţii de către un atom este însoţită de o nu tranzit le bruscă de la o stare cuantificată la o alta. Dacă E2 şi Ex E2 sunt energiile acestor două stări cuantificate, emisia unui foton de frecvenţa V va corespunde trecerii de la starea Ex la starea E2, în timp ce absorbţia unui foton de această frecvenţă va corespunde trecerii inverse, de la starea E2 la starea Ey şi, întrucât ştim din celebra teorie a cuantelor de lumină a lui Einstein (1905) că energia unui folon purtat de o undă de frecvenţa v este egală cu hv, conservarea energiei cere ca

Aceasta este „legea frecvenţelor" a lui Bohr. În memoriul său din 1917, pornind de la aceste idei deja unanim admise şi inspirându-se din anumite rezultate ale teoriei electromagnetice clasice, Einstein admite că un

atom care se află în starea excitată E! poate trece în starea E2 emiţând un foton h v în două feluri diferite, fie spontan, fie sub acţiunea unei radiaţii ambiante de frecvenţa v, în timp ce un atom care se află în starea E2 nu poate evident să treacă în starea Ei absorbind un foton h v decât împrumutând acest foton de la o radiaţie exterioară de frecventa v. El examinează într-o incintă menţinută la o temperatură T atomi din specia considerată în echilibru termic cu radiaţia corpului negru. După legea distribuţiei canonice a lui Boltzmann-Gibbs, numerele Nx şi N2 ale atomilor aflaţi în stările cuantificate de energie Ex şi E2 sunt într-un raport egal cu

(2)

— E-E

— e N2

În care k este constanta lui Boltzmann. Introducând ideea emisiilor spontane şi a emisiilor provocate, pare natural să admitem că cei Nx atomi de energie Ex au, pe unitate de timp, o probabilitate A + Bxp (V) de a emite un foton de frecvenţa v, p (V) fiind densitatea spectrală a radiaţiei corpului negru pentru frecvenţa v, în timp ce cei atomi în starea E2 au, pe unitate de timp, o probabilitate egală cu B2 p (V) de a trece în starea Ex prin absorbţia unui foton h v. Echilibrul termodinamic cere în acest caz să avem

Or, pentru o frecvenţă infinit de mare, emisiile provocate trebuie să fie infinit preponderente şi relaţia (3) trebuie să rămână valabilă atunci când putem neglija pe A dinaintea lui Bxp (V). Aceasta arată că trebuie să admitem că R = B = B şi, ţinând seama Je (1) şi (le (2), se obţine cu uşurinţă

$$B\left(\begin{array}{c}\frac{h\nu}{kT}\\ e\end{array} - 1\right)$$

p (V) = – A

Ei – ki
e
Dar lege a radiaţiei corpului negru, descoperită în 1900 de către Planck, ne îi va tă că avem:
(\ gr. h v3 1
p (V) =
eki – 1
lden Lificarea 1 ui (4) şi (5) arată că trebuie să a dmi te m
A Srth v3
B c3
ceea ce stabileşte o legătură numerică precisă între coeficienţii A şi B ai emisiei spontane şi ai emisiei provocate şi arată relaţia profundă ce există între legea frecvenţelor a lui Bo h r (1) şi formula radiaţiei corpului negru a lui Planck (5).
Cu toată marea sa însemnătate teorctica, rati o – / 9
namentul lui Einstein nu punea în evidenţă un fapt care s-a dovedit mai târziu de o importanţă capitală: acest fapt e că, în timp ce emisiile spontane au un caracter în întregime incoerent, fotonii a căror emisie este provocată în diverşi a torni prin trecerea aceleiaşi unde sunt „coerenţi –, adică toţi au aceeaşi fază ca şi această undă. Structura total incoerentă a unde lor care se încrucişează într-o radiaţie a f 9
corpului negru nu a permis lui E în stein să sesizeze clar această importantă deosebire de natură între emisiile spontane şi emisiile provocate. Este deci interesant să reluăm raţionamentul lui Einstein sub o formă puţin diferită, care să permită să exprimăm deosebirea de proprietăţi ale celor două feluri de emisii şi care să fie mai direct aplicabilă în cazul laserilor.
Să considerăm o cavitate cu un volum V traversa tă de o undă având o direcţie şi o frecventă v
1
bine determinate care poartă n fotoni. Dacă această cavitate conţine atomi susceptibili să emită sau să absoarbă frecvenţa v, astfel încât să avem v = E e

= – h 2, se admi te în teori a câmpurilor cuantificate – ceea ce e în acord, cum se vede uşor, cu ipotezele lui Einstein precizate mai sus – că probabilitatea trecerii unui atom din starea 2 în starea Ei cu absorbţia unui foton hv este P21 = Cn, pe când probabilitatea trecerii unui atom din starea E! în starea 2 cu emisia unui foton hv este

Pi2 = C (n + 1).

De aici rezultă că un atom în starea Ei poate emite un foton pe o undă care are aceeaşi direcţie de propagare şi chiar aceeaşi frecvenţă ca şi unda care traversează cavitatea cu o probabilitate egală cu P 12 = C (n + 1). Acest atom însă poate emite de asemenea cu o probabilitate P un foton hv pe oricare din celelalte unde de frecvenţa v, până atunci vide de fotoni, adică pentru care n = 0,ce se pot stabili în cavitate. Numărul acestor unde susceptibile să existe în cavitate este, după oformula bine cunoscuta a 1 ui Jeans, egal cu v V

c3

ceea ce ne da PL2 = C (Sr: Vfv – 1 j, prezenţa factorului – 1 în paranteză ustificându-se prin faptul că în expresia pentru P 12 am ţinut deja cont de unda care. poartă n fotoni. În cele din urmă, probabilitatea tranziţiei l+ 2 pe unitatea de timp este deci

P 1, = P «+ P12 = Cn + C Şi-V.

c3

Or, aici trebuie să luăm pentru exprimarea lui p (V)

p (V) = nhv ceea ce ne dă

(9) Pi2 = C8 + C hv p (V).

ce h-Dacă vrem să scriem această expresie a lui P12 sub forma A + Bp (V), găsim imediat pentru razi portul – formula (6) a lui Einstein: această for-B

mulă este astfel regăsită fără intervenţia legii i «i radiaţiei corpului negru, nici a noţiunii de temperatură, nici a legii de distribuţie canonică a lui Boltzmann-Gibbs, ceea ce pare interesant.

În p 1 u’s, formula (7) are avantajul de a separa net termenul Cn care corespunde emisiei unui foton coerent pe unda de frecventă v şi termenul C – ltv-V

c3

care corespunde emisiei de fotoni incoerenţi, pe oricare din undele ce se pot stabili în cavitate. Astfel rezultă, ceea ce mi se pare important, că, scriind formula P12 = C (n + 1), se blochează, simultan, într-o manieră. e se pretează la confuzie, o emisie provocată co rentă şi o emisie spontană incoerentă. Acest mod de a proceda, practicat în forma actuală a teorj, câmpurilor electromagnetice cuantificate, fără a ţine cont de deose-o I

birea esenţială de natură a celor două feluri de emisii, este poate una din cauzele dificultăţilor întâlnite în această teorie.

Undele hertziene şi undele lum inoas (!

11

n e o e renţ a emisiilor spont a ne şi coerenţa em is i ilor induse a căror importantă a apărut cu claritate în ultim îi ani după descoperirile’s u ceesive ale mascrilor şi laserilor, readuc în atenţie deosebirea, de mult observată de cei care au reflectat asupra ei, care opune undele hertziene şi undele luminoase emise de sursele obişnuite de lumină, cu toate că şi

„11 100

unele şi celelalte sunt unde de aceeaşi natură electromagnetică. Un emiţător de unde hertziene întreţinute emite continuu o undă electromagnetică transportând un foarte mare număr de fotoni coerenţi, cu un redus conţinut energetic hv. Într-adevăr, pe de o parte, caracterul continuu şi coerent al undei este demonstrat de reuşita, până şi în domeniul undelor milimetrice, a folosirii exclusive a ecuaţiilor lui Maxwell pentru a prevedea proprietăţile acestei unde; pe de altă parte, prezenţa fotonilor în undă este demonstrată prin intervenţia certă a acestor fotoni în funcţionarea maserilor. Din contră, în emisia de unde luminoase de către o sursă obişnuită de lumină, atomii sursei emit

9 /

Individual grupuri de unde de o lungime destul de mică (de ordinul unui metru) purtând fiecare câte un

singur foton. Fără îndoială, majoritatea surselor de lumină folosite în mod obişnuit sunt destul de intense pentru ca grupurile de unde pe care le emit aceşti atomi să se suprapună şi ca fotonii să se afle astfel în coerentă cu unda ce rezultă din această superpoziţie: această coerenţă însă, care e denumită „coerenţă parţială”, are un caracter foarte efemer deoarece compoziţia undei rezultante variază mereu din cauza duratei foarte scurte a emisiilor individuale. Coerenţa parţială a undelor luminoase emise de sursele de lumină obişnuite a fost studiată de diferiţi autori şi rezultatele pe care le-au obţinut au i adus mari servicii pentru interpretarea a numeroase fenomene, şi anume în ceea ce priveşte formarea imaginilor furnizate de instrumentele optice: totuşi ea nu are acelaşi caracter ca şi coerenţa totală de o durată foarte lungă a fotonilor emişi de un emiţător de unde hertziene întreţinute. Invenţia laserilor a fost aceea care a permis pentru prima oară obţinerea unor unde luminoase având aceeaşi structură şi aceleaşi proprietăţi de coerenţă ca şi undele hertziene şi aceasta e ceea ce, din punct de vedere pur teoretic, conferă o mare importanţă acestei invenţii.

O privire foarte sumară asupra laserilor şi a aplicaţiilor lor

Utilizarea fenomenului de emisie stimulată, sugerată încă în 1952 de Weber şi de Basov şi Prohorov, a fost realizată în 1954 pentru undele hertziene de către un grup de fizicieni americani condus de Townes. Izolând, cu ajutorul unei trieri efectuate de un câmp magnetic neomogen, atomi aflaţi în aceeaşi stare cuantică excitată şi trimiţându-i într-o cavitate rezonantă unde una dintre frecvenţele proprii coincide cu una dintre frecvenţele pe care le pot emite atomii excitaţi a fost posibilă obţinerea, desigur, printr-o alegere judicioasă a atomilor utilizaţi în funcţie de natura spectrului stărilor lor staţionare, a unei remarcabile’s stabilizări a undei al cărei sediu este cavitatea rezonantă: de aici a rezultat posibilitatea de a construi „orologii atomice” care permit un control extrem de precis al frecvenţelor şi aceste dispozitive au făcut de

atunci obiectul unui mare număr de aplicaţii ştiinţifice şi tehnice de mare importanţă.

Intensitatea fenomenului de emisie provocată este însă, în aceste condiţii, destul de slabă, deoarece în mod normal numărul atomilor ce se află într-o stare excitată este mult mai mic decât cel al atomilor în starea fundamentală de mai mică energie cuantificată. Pentru a obţine o emisie provocată puternică trebuie realizată, în ansamblul atomilor utilizaţi, o foarte mare proporţie de atomi „excitaţi" sau, cum se spune, trebuie provocată o „inversare de populaţie" între o stare excitată şi stările mai puţin excitate. Acest lucru a putut fi realizat datorită unui foarte ingenios procedeu de „pompare optică", pe care Alfred Kastler şi colaboratorii săi l-au pus la punct în 1949. Acest procedeu constă esenţialmente în a provoca o inversare de populaţie în atomii utilizaţi iradiindu-i cu ajutorul unui puternic fascicul de lumină a cărui frecvenţă corespunde cu inversarea de populaţie pe care vrem să o producem. Dacă există niveluri intermediare între nivelul fundamental al atomilor şi nivelul excitat care a fost „suprapopulat", atomii aflaţi sub acţiunea unei radiaţii hertziene a cărei frecvenţă corespunde trecerii de la starea suprapopulată la o stare mai puţin excitată vor emite un mare număr de fotoni coerenti care vor îmbogăţi stocul de fotoni purtaţi de unda hertziană incidentă. Din acel moment a devenit uşor să se construiască maseri amplificatori de unde hertziene având proprietăţi foarte interesante, ale căror aplicaţii sunt numeroase. Şi, firește, aşa cum se întâmplă întotdeauna în radioeleciricitate, atunci când a fost inventat un dispozitiv amplificator, masorul amplificator poate fi transformat, mărind suficient amplificarea, într-un maser oscilator, sursă de unde hertziene întreţinute, şi acest lucru e de asemenea foarte interesant din punct de vedere tehnic.

Şi acum, de la maseri vom trece la laseri. Diverşi fizicieni au examinat de câţiva ani posibilitatea de a extinde la cazul luminii procesul de emisie provocată folosit pentru undele hertziene în maseri. Această

extindere părea totuşi îngreuiată de faptul, foarte vizibil în formula (6), că raportul între emisia spontană şi emisia provocată creşte foarte repede cu frecvenţa: or, emisia spontană, fiind incoerentă, joacă, în raport cu emisia provocată, rolul unui „zgomot" parazit în sensul atribuit cuvântului „zgomot" în tehnica radioelectrică. Pentru a depăşi această dificultate trebuie ales cu pricepere corpul în care trebuie să se producă emisia provocată după distanţarea nivelurilor sale de energie şi apoi trebuie realizată o pompare foarte puternică, cu o frecvenţă superioară aceleia pe care vrem s-o facem să fie emisă. Aceasta e ceea ce a realizat fizicianul american Maiman în 1960. Din lucrarea sa, şi din cele, foarte numeroase, care au urmat imediat după ea, a rezultat mai întâi punerea la punct a laserului solid, al cărui tip curent este laserul cu rubin, apoi invenţia altor forme de laseri despre care vom vorbi mai departe.

Într-un laser cu rubin o baghetă de rubin este aşezată pe axul unei cavităţi cilindrice de tipul

Perot-Fabry terminată cu două oglinzi convergente ce concentrează radiaţia pe baghetă şi din care una cel puţin este uşor transparentă. Unde luminoase staţionare pot să se instaleze în această cavitate şi să scape puţin în afară prin oglinda semitransparentă. Rubinul este supus la un brusc „flash" de lumină foarte intensă, de o frecvenţă ridicată, ceea ce produce în rubin o pompare optică foarte energică. Din această pompare rezultă, prin proces provocat, emisia sacadată, prin oglinda semitransparentă, a unor grupuri de unde luminoase având câteva zeci de metri lungime şi purtând un foarte mare număr de fotoni coerenţi: aceste grupuri de unde sunt deja mult mai lungi decât grupurile de unde purtând un singur foton emis individual de către atomii unei surse de lumină obişnuită, grupuri de unde a căror lungime este de ordinul metrului. Avem, aşadar, aici analogul în frecvenţă luminoasă al impulsurilor folosite în tehnica radiofrecvenţelor (de exemplu, în dispozitivele radar). Energia fiecărui impuls emis de un laser cu rubin este foarte mare, de ordinul a

cincisprezece megawaţi timp de cincizeci de nanosecunde; întrucât aici radiaţia capătă forma unui cilindru cu o secţiune foarte mică şi cu o direcţie foarte bine definită, din cauza numărului considerabil de fotoni pe care îi transportă, această radiaţie corespunde unui flux de energie pe centimetru pătrat extraordinar de mare. Aceasta permite realizarea experienţei atât de uimitoare care constă în perforarea unei lame de oţel cu ajutorul unui fascicul îngust de lumină emis de un laser cu rubin. Vom adăuga, fără a insista asupra acestui lucru, că se pot de asemenea realiza laseri cu solid folosind alte corpuri decât rubine.

Există însă şi o altă formă foarte importantă de laseri: laseri cu gaz, al căror principiu a fost arătat de Javan în 1959. Laserii cu solid furnizează grupuri de unde luminoase care corespund unei densităţi energetice extrem de ridicate, dar care, din cauza caracterului lor de impulsuri izolate, nu posedă decât coerenţe de scurtă durată. Aceasta se explică prin structura foarte neomogenă a solidelor folosite şi părea probabil că, înlocuind solidul cu un mediu gazos, am fi putut obţine grupuri foarte lungi de unde coerente, având ca analogi în tehnica radioelectrică nu impulsuri de tipul radar, ci emisii de unde întreţinute de lungă durată. Pentru a obţine emisia provocată dorită, se foloseşte un procedeu ingenios care face apel la o descărcare electrică într-un amestec de două gaze. Deşi s-ar putea folosi mai multe amestecuri de două gaze, funcţionarea laserului cu gaz poate fi comod explicată prin exemplul amestecului foarte frecvent folosit de neon şi heliu. Se întâmplă ca atomul de heliu să posede un nivel excitat a cărui energie este foarte puţin superioară aceleia a unui nivel excitat al neonului. O descărcare electrică ce traversează amestecul foarte rarefiat în proporţii convenabile de neon şi de heliu face să treacă atomii celui de-al doilea din aceste gaze în nivelul excitat în chestiune şi ciocnirea atomilor de heliu cu un atom de neon operează un transfer neradiativ de energie care aduce atomii de neon în starea excitată de energie

vecină şi îi pune astfel în stare de a emite lumina prin procesul tranziţiei provocate. Avem aici un fel de „pompare indirectă” în care intervin atomii a doua gaze diferite şi acest proces are drept rezultat emisia continuă a unei lumini de putere slabă (de ordinul unui miliwatt), dar de o foarte lungă durată de coerenţă. Deşi laserii cu gaz, datorită slabei intensităţi a undei pe care o emit, nu se pot preta la toate aplicaţiile tehnice ce pot fi imaginate pentru laserii cu solid, interesul lor din punctul de vedere al cercetărilor fundamentale este considerabil. Ei sunt în special cei care, precum am mai spus-o, permit obţinerea unor unde luminoase a căror structură este cu totul analogă aceleia a undelor hertziene întreţinute folosite în telecomunicaţiile radioelectrice. Unda emisă de un laser cu gaz care transportă în ansamblul său un număr foarte mare de fotoni poate, într-adevăr, să atingă o lungime de zeci şi chiar de sute de kilometri.

O 9

Pentru.com p le tare, trebuie adăugat că s-au putut pune la punct destul de recent laseri care folosesc semiconductori. Aceşti laseri, al căror studiu e în plină dezvoltare, furnizează unde luminoase de o coerentă mediocră, dar cu un mare i 7

randament, ceea ce poate fi interesant pentru anumite aplicaţii.

Numeroase utilizări ale laserilor au fost proiectate în domenii foarte diverse, cum sunt: telecomunicaţiile, radarul, transportul de energie, metalurgia, e chiar e hirurgia etc. Punere à la punct a acestor aplicaţii progresează destul de încet, deoarece se loveşte de numeroase dificultăţi, dar putem considera că, într-un viitor mai mult sau mai puţin apropiat, ele vor lua o mare extindere. Nu putem insista aici asupra acestui i subiect.

Revenire la importanţa teoretică a funcţionării laserilor

Am vrea, în încheiere, să insistăm din nou asupra importantei teoretice a fenomenului de emisie provocată pe care a evidenţiat-o inventarea maserilor şi mai mult

încă aceea a laserilor. De la Maxwell şi Hertz se ştia că nu există vreo deosebire esenţială de natură între lumină şi undele electromagnetice ale căror lungimi de unde se întind astăzi de la câţiva kilometri până la o fracţiune de milimetru. Subzista totuşi o deosebire esenţială de structură între undele hertziene întreţinute, furnizate de emiţători radioclectrici, unde

7 i 7

care sunt de mare lungime şi de mare coerenţă, şi grupurile de unde relativ scurte, incoerente între ele şi purtând fiecare un singur foton pe care îl emit individual atomii unei surse luminoase obişnuite. Or, această deosebire este ştearsă astăzi, când cu laseri se obţin unde luminoase de mare

lungime şi de mare coerenţă, ceea ce este deja un rezultat foarte important.

Mai mult. Modul însuşi în care procesul de emisie provocată asigură funcţionarea laserului este plin de* învăţăminte. El arată, într-adevăr, că atomi Localizaţi în diferite puncte ale cavităţii laserului, cavitate ale cărei dimensiuni sunt macroscopice, emit fotoni care sunt toţi în fază cu o aceeaşi undă, astfel încât trebuie admis că această i /

undă ritmează emisiile tuturor acestor atomi.

Aceasta ni se pare a conduce în mod necesar la ideea că unda elec tromagnetică, care acoperă toţi atomii şi ritmează emisia lor, este în mod necesar t f o realitate fizică, un proces concret care se desfăşoară în toate punctele cavităţii laserului şi care nu se reduce la un simplu formalism sau la o simplă reprezentare de probabilitate, deoarece este imposibil să admitem că o formulă matematică sau o reprezentare de probabilitate poate să impună un ritm unui fenomen fizic cum e o emisie de radiaţie. Fizicienilor din vechile generaţii le-ar fi părut destul de stranie necesitatea de a se insista asupra acestor puncte, însă nouă aceasta nu ni se pare inutil în stadiul actual al fizicii teoretice. Credem că este necesar să se redea undei electromagnetice şi, în mod mai general,

undelor asociate tuturor particulelor, prin intermediul concepţiilor de bază ale mecanicii ondulatorii, dintre care unda electromagnetică nu e decât un caz particular, un caracter mult mai concret decât par să o ad

W, W „– ” f

mită astăzi majoritatea teoreticienilor fizicii cuantice. Cum însă este imposibil de a separa corpusculul de unda sa, adică aici fotonul de unda electromagnetică, credem că va trebui să ajungem să ne facem o reprezentare precisă a coexistenţei şi a legăturii undelor şi corpusculilor, problemă capitală pusă de la apariţia mecanicii ondulatorii în 1923 şi chiar, în ceea ce priveşte lumina, de la teoria cuantelor de lumină (1905). Aceeaşi) problemă nu ni se pare să fi primit la ora actuală o soluţie satisfăcătoare. Dar, fără a insista asupra acestor idei ale mele personale, cred să putem afirma că toţi fizicienii vor fi de acord să recunoască că realizarea laserilor a constituit o etapă esenţială în progresul cunoştinţelor noastre asupra naturii luminii.

COEXISTENŢA FOTONILOR ŞI UNDELOR ÎN RADIAŢIILE ELECTROMAGNETICE ŞI TEORIA DUBLEI SOLUŢII

Descoperirea coexistenţei undelor şi corpusculilor

În 1905, anul în care punea bazele teoriei relativităţii, un tânăr de 25 de ani, Albert Einstein, săvârşea o adevărată revoluţie în teoria luminii. Deşi, de la lucrările lui Augustin Fresnel, părea cert că lumina este constituită din unde a căror natură electromagnetică a descoperit-o mai târziu James Clerk Maxwell, Einstein admise că lumina conţine şi sub formă corpusculară mici regiuni de concentrare puternică de energie pe care le-a denumit „cuante de lumină” şi pe care noi le numim astăzi „fotoni”. Sprijinindu-se pe această ipoteză îndrăzneaţă, inspirată de teoria cuantelor a lui Planck, pe atunci veche de numai cinci ani, el a putut explica, printr-un raţionament exprimat în câteva rânduri, caracteristicile rămase misterioase ale efectului fotoelectric, admiţând că lumina de frec

pe
venţa v transportă cuante de lumină de o energie hv, h fiind faimoasa constantă a lui Planck.

În ciuda marelui succes pe care îl repurta astfel de la apariţia sa, concepţia lui Einstein ridica mari dificultăţi deoarece părea destul de greu de a o concilia cu existenţa, atât de bine dovedită, a fenomenelor de interferenţă şi de difracţie. Având i în vedere cele ce urmează, este interesant de reamintit că, în acea epocă, Einstein a avut următoarea idee: undele luminoase ar fi unde foarte slabe şi nedecelabile din pune t de vedere energetic, unde pe care, din acest motiv, le-a calificat ca unde „fantome”: rolul lor ar fi de a transporta fotonii şi de a ghida mişcarea lor, reglând repartiţia lor în spaţiu conform cu ceea ce arată fenomenele de interferenţă şi de difracţie.

S-au scurs aproape douăzeci de ani când, în 1923 – 1924, în note la Comptes Rendus, apoi în teza mea de doctorat, am emis ideea că coexistenţa undelor şi corpusculilor descoperită de Einstein în cazul luminii trebuie să se extindă la toţi

corpusculii materiei şi că existenţa unor stări cuantificate în atomi, fapt recunoscut de la apariţia teoriei atomului de Niels Bohr (1913), trebuia explicată presupunându-se că mişcarea electronilor este asociată cu propagarea unei unde. Precizată prin lucrările lui Schrödinger (1926), care a formulat explicit ecuaţia propagării undei asociate electronului şi a dedus de aici consecinţe importante, confirmate experimental de descoperirea difractici electronilor pe cristale (Davisson şi Germer, G.P. Thomson, Ponte, 1927), concepţia mea despre coexistenţa generală a undelor şi corpusculilor m-a condus în 1926 – 1927 la o teorie pe care am denumit-o „teoria dublei soluţii” şi am expus-o într-un articol din Journal de Physique din mai 1927. Generalizând în fond concepţia undei fantomă sugerată de Einstein în cazul luminii, presupuneam că corpusculul este o foarte mică regiune de inars concentrare de energie, un fel de singularitate, în

sânul unei unde întinse care îl ghida în mişcarea sa, astfel încât probabilitatea prezenţei corpusculului într-un punct la un moment dat să poată explica fenomene de interferenţă şi de difracţie, şi aceasta atât în cazul corpusculilor materiali ca electronul, cât şi în cazul fotonilor. De altfel, raportul de filiaţie care, în concepţia mea, făcuse ca mecanica ondulatorie să decurgă din teoria cuantelor de lumină a lui Einstein nu mi-a permis niciodată să mă îndoiesc că, cel puţin în ce priveşte esenţialul (adică abstracţie făcând de chestiunile de masă, de spin, de forma ecuaţiilor de unde e tc.), coexistenţa undelor şi corpusculilor ar fi de aceeaşi natură în cazul fotonilor ca şi în cel al tuturor celorlalte particule.

Nu voi reaminti aici, întrucât am făcut-o de mai multe ori în aceşti ultimi ani, cum a fost respinsă concepţia abia schiţată pe care am propus-o, în urma discuţiilor în Consiliul de fizică Solvay din octombrie 1927, în favoarea interpretării probabiliste introduse mai întâi de Max Born şi dezvoltate apoi sub forma unei teorii a „complementarităţii" de către Niels Bohr şi discipolii săi, şi îndeosebi de \Verner Heisenberg, al cărui nume a rămas legat de faimoasele relaţii de incertitudine. Am explicat de ce, nereuşind să dezvolt concepţia mea într-un mod realmente satisfăcător, m-am raliat la interpretarea probabilistă, singura susceptibilă în acel moment de a fi dezvoltată într-o formă destul de riguroasă pentru a face obiectul cursurilor cu predarea cărora am fost însărcinat din acel moment.

Am arătat de asemenea de ce în jurul anilor 1951 – 1952 am revenit la ideile mele iniţiale, reflect iile mele determinându-mă să consider că numai ele puteau oferi o reprezentare exactă a realităţii fizice. Desigur, eu nu neg valoarea previziunilor făcute cu ajutorul formalismelor denumite „mecanica: uantică" sau „teoria cuantică a câmpurilor"; cred însă, aşa cum o spunea totdeauna Einstein, că ele nu dau decât o viziune statistică a fenomenelor fără a descrie exact realitatea fizică subiacentă.

Ideile mele privind interpretarea coexistenţei undelor şi corpusculilor de către teoria dublei soluţii au progresat mult în ultimii ani, dar, dată fiind în tind ere a subiectului, nu pot decât să-l trimit pe cititor la lucrările indica te în bibliografia de la sfârşitul articolului, iar aici trebuie să mă limitez la un rezumat foarte sumar al teoriei dublei soluţii, rezumat oare e un preambul necesar la subiectul pe care vreau să-l tratez.

Expunere sumară a teoriei dublei soluţii

Ideea esenţială a teoriei dublei soluţii, aceea care îi justifică numele, este că trebuie să distingem două soluţii ale ecuaţiilor de unde folosite în mecanica ondulatorie: una este unda bine cunoscută care, conform interpretării lui Max Born, nu e decât o reprezentare de probabilitate; cealaltă, unda w, care este adevărata descriere a realităţii a ...

fizice. În timp ce unda este fictivă şi structura sa omogenă nu comportă nimic ce ar putea permite să localizăm în ea un corpuscul, unda u trebuie să comporte o foarte mică regiune singulară unde câmpul ondulatoriu capătă o foarte mare valoare şi tocmai această regiune este corpusculul.

Structura undei u poate fi deci precizată spunând că, în afara foarte micii regiuni care constituie corpusculul, ea se reduce la o undă uniformă de foarte mică amplitudine pe care o voi numi „unda de bază" şi o voi desemna prin litera v; ea este asimilabilă undei fantomă a lui Einstein. Pe această undă de bază este într-un fel „grefat" corpusculul şi această grefare e aceea care obligă corpusculul să se deplaseze într-o manieră care e legată de propagarea undei de bază. Această mişcare s-ar efectua conform unei legi, „formula ghidării", care ia diverse forme conform ecuaţiei de / i unde a corpusculului şi al cărei sens profund este următorul: corpusculul se deplasează în undă în aşa fel încât vibraţia sa internă rămâne totdeauna în fază cu unda care îl poartă[17]. Acest rezultat apare de altfel ca

17 Faza cp a undei v este definită prin relaţia v = aeit cp, în care a şi cp sînt funcţii reale de xyzt. Faza vibraţiei interne a corpusculului care

aproape evident dacă se observă că, în această teorie, corpusculul nu este altceva decât o mică regiune a undei în care câmpul ondulatoriu este exacerbat. Consideraţii asupra cărora nu mă pot extinde ai ci m-au determinat să cred că adevăratele ecuaţii ale undei u sunt neliniare, dar că, în afara foarte micii regiuni de mare amplitudine constituită de corpuscul (şi poate pe marginile grupurilor de unde, dacă ele sunt abrupte), termenii neliniari devin neglijabili în aşa fel încât, în aproape întreaga sa întindere, unda u se confundă cu unda de bază v care ascultă de ecuaţiile liniare obişnuite ale mecanicii ondulatorii. Deşi din punct de vedere statistic, despre care vom vorbi acum, totul ar fi reglat de proprietăţile undei de bază, intervenţia neliniarităţii poate deveni importantă în anumite cazuri, precum vom vedea mai jos.

Ghidarea corpusculilor de către unda de bază ne face să credem că probabilitatea prezenţei corpusculului într-un punct al spaţiului la un moment dat este furnizată de o expresie care, în cazul simplu al ecuaţiei lui Schr? l dinger, este proporţională cu pătratul modulului amplitudinii undei de bază. Totuşi, şi acesta este unul din progresele importante ale teoriei mele în ultimii ani, această concluzie nu poate deveni mai riguroasă decât admiţând existenţa, în ceea ce numim vid, a unui mediu ascuns, mediul subcuantic al lui Bohm şi Vigier, care s-ar afla în interacţiune constantă cu corpusculul şi care i-ar provoca perturbări continue fără ca acordul său de fază cu unda de bază să fie în cele din urmă deranjat. De trei ani încoace am construit, dezvoltând această idee, o foarte curioasă „termodinamică ascunsă a particulelor" asupra căreia nu

4 1

pot insista aici[18], dar care mi se pare a contribui într-o manieră importantă la progresele viitoare ale fizicii

---

se află în punctul xy-:. la timpul t este egală cu cp(xyz/). Faza este astfel definită la modul general care nu implică deloc ca unda v să fie asimila bilă cu o undă plană monocroma ti că.

18 A se vedea bibliografia de la finele articolului şi paginile următoare ale acestui volum.

cuant ice.

Înainte de a termina această an al i z a foarte sumară a teoriei dublei soluţii, aş vrea să mai fac

9 * 9

unele remarci importante. Pentru a pune teoria mea în acord cu formalismul probabilist uzual care foloseşte numai unda \}", trebuie stabilită între această undă şi und a de bază fiziceş te reală, pe care o notez cu litera v, relaţia f = Cv în care C este un factor de normare care ne permite să considerăm F 2 ca expresia care dă în valoare absolută probabilitatea prezenţei corpusculului într-un punct. Unda astfel definită este deci o undă fictivă obţinută pornind de la unda de bază reală şi cu amplitudine determinată de o normare arbitrară. De aici rezultă că dacă undele v şi Y sunt într-adevăr amândouă soluţii ale aceloraşi ecuaţii liniare de propagare, unda de bază posedă proprietatea de compunere ce caracterizează undele liniare fiziceşte reale, în timp ce unda Y nu posedă această proprietate din cauza operaţiei arbitrare de normare; această ultimă împrejurare, semnalată de multă vreme de Dirac, poate fi foarte uşor verificată. După părerea mea, acest fapt explică veritabila semnificaţie a ceea ce se numeşte după Heisenberg „reducerea pachetului de probabilităţi": în afară de aceasta, el ne permite să înţelegem de ce unda \}", deşi nu este decât o reprezentare subiectivă de probabilitate, pare să determine fenomene fizice observabile cum sunt: difracţia, interferenţele, nivelurile de energie ale stărilor staţionare ale atomilor etc. După părerea mea, nu se poate admite ca o reprezentare de probabilitate să determine un fenomen fizic observabil, dar acest paradox este evitat dacă se presupune, conform teoriei dublei soluţii, că în spatele undei fictive F este disimulată o undă de bază v, care este un proces fizic real susceptibil de a determina fenomene observabile[19].

---

19 Pentru a arăta că o distribuţie de probabilităţi nu poate determina un fenomen fizic observabil, se poate face următoarea remarcă oarecum banală. Un tabel de mortalitate poate da o reprezentare a

Voi mai adăuga o ultimă remarcă. Ecuaţiile de undă ale mecanicii ondulatorii conţin termeni imaginari şi soluţiile lor sunt funcţii complexe. Unda e de bază va fi deci reprezentată printr-o funcţie complexă. La prima vedere poate părea imposibil ca un proces fizic real să fie reprezentat printr-o astfel de funcţie, dar vedem că aceasta nu se întâmplă deoarece o funcţie complexă F se descompune în două funcţii reale F şi F2 prin formula F = F, + iF2 şi, introducând această descompunere în ecuaţiile de unde şi separând realul de imaginar, se obţine un ansamblu de ecuaţii, toate reale.

9 t f J

care leagă, într-o anumită manieră, evoluţia funcţiilor reale F şi F2 – Vom vedea utilitatea acestei remarci când vom aplica, cum o vom face acum, teoria dublei soluţii la cazul câmpurilor electromagnetice şi al fotonilor.

Unda de bază a fotonilor ar fi o undă electromagnetică de tip clasic, dar de foarte mica amplitudine

În teoria dublei soluţii pare a priori cert că unda de bază a fotonilor trebuie asimilată cu o undă electromagnetică de foarte mică amplitudine, ascultând, cel puţin foarte îndeaproape[20], de ecuaţiile lui Maxwell.

---

probabilităţilor de decese, de exemplu la Paris în 1965, dar nu acest tabel e cauza deceselor. Cînd cineva moare, moare de o boală, în urma unui accident sau din altă cauză, dar nu tabelul de mortalitate e cel care provoacă decesul.

Şi totuşi, ceva analog se admite implicit în interpretarea uzuală a mecanicii cuantice. Unda '1', care e fictivă, fiindcă e normată arbitrar, nu poate fi cauza fenomenelor obscrvabile pe care pare a le determina. Adevărata cauză trebuie să fie în mod necesar o undă fizică reală, cu o a mpl itu d ine bine determinată, care este in de p endentă de funcţia '1', dar de care aceasta trebuie să fie strins legată. Acesta e motivul profund pentru care am crezut, cu aproape patruzeci de ani în urmă, că era cazul de a distinge o undă reală, unda de bază v, şi o undă fictivă, unda \}!", soluţie a aceleiaşi ecuaţii de undă. Acesta c punctul de plecare al teoriei dublei soluţii.

20 Spun foar te îndeaproape deoarece am fos t totdeauna de părere că trebuia introdus în ecuaţiile lui Maxwell un foarte mic termen de masă, dar această m^să trebuie să fie atît de mică încît să nu mo difice

Reflecţiile mele recente asupra procedeului de „apodizare” a imaginilor, folosit în tehnica instrumentelor optice, mi s-au părut a confirma această concepţie şi voi expune raţionamentul pe care l-am făcut în această privinţă.

Fizicienii care caută să obţină imagini hunc el! ajutorul instrumentelor optice sunt stingheriţi de efectele de difracţie ce intervin în aceste instrumente, aceste efecte având drept consecinţă dispersarea luminii în urul imaginii prevăzute de optica geometrică. Din acest motiv, ei au căutat să elimine printr-un dispozitiv adecvat acest gen de „picior” care prezintă repartiţia intensităţilor în jurul imaginii, astfel încât să obţină printr-un procedeu de „apodizare” o repartiţie mai concentrată a intensităţilor şi, în consecinţă, o imagine mai clară.

Fără a intra în detaliile teoriei, vrem să reamintim principiul metodei de apodizare. Să considerăm un instrument optic comportând un orificiu, de exemplu de formă circulară. Fără apodizare, lumina incidentă va avea o intensitate în general constantă pe întregul orificiu şi principiul lui lluyghens, alăturat formulei de inversiune a lui Fourier, ne permite să calculăm forma imaginii cu piw. nu w A w f * 1 w ciorul său jenant. Să aşezăm însă pe orificiu o lamă absorbantă de grosime variabilă, de exemplu mai groasă la margini decât la mijloc. În acest caz, pe orificiu intensitatea nu va mai fi uniformă, ea va fi mai mare în centrul orificiului decât pe marginile lui. Teoria arată şi experienţa confirmă că figura de difracţie în planul imagine se poate îngusta şi că astfel se poate obţine o imagine apodizată mai clară.

Or, pare sigur (experienţa s-ar putea face, fără îndoială, uşor) că imaginea apodizată s-ar obţine fără vreo modificare dacă, în loc de a folosi o sursă de lumină intensă, s-ar folosi, ca în celebrele experienţe ale lui Taylor, o sursă foarte slabă, atât de slabă încât fotonii cu grupurile lor individuale de unde nu ar cădea decât unul câte unul pe orificiul aparatului. Să ne gândim la ce s-ar petrece în acest caz. Toţi fotonii care ar trece prin orificiu şi care ar

---

sensibil soluţiile ecuaţiilor lui Maxwell.

contribui la formarea imaginii ar traversa lama absorbantă şi totuşi aceşti fotoni, care nu ar fi i i

suferit o absorbţie cuantică discontinuă în lamă.

nu s-ar mai repartiza în acelaşi mod în planul imaginc ca în absenţa lamei. Aceasta mi se pare a ne impune să admitem că „ceva" care însoţeşte fotonul şi influenţează mişcarea lui a fost absorbit în lamă printr-un proces necuantic diferit de absorbţia prin foton. Or, acest „ceva" nu mi se pare a putea fi decât grupul de unde de bază care poartă şi ghidează fotonul. Acest grup de unde pare să poată fi asimilat cu un grup de unde electromagnetice care s-ar propaga şi ar fi absorbit în lamă într-o manieră cvasiclasică. Regăsim astfel ideea că fotonul este purtat de o undă electromagnetică de bază de tip clasic, dar de o foarte slabă intensitate, unda fantomă a lui Einstein.

Raţionamente analoge se pot aplica şi altor fenomene optice. Toate sugerează că la nivelul de intensitate foarte slabă a undei de bază se desfăşoară procese foarte bine descrise de teoria electromagnetică clasică. Pentru a preciza această viziune, am fost determinat să admit (aici nu pot menţiona acest punct decât foarte succint) că, F = F x + iF fiind una din mărimile electromagnetice ale undei de bază, partea sa reală FY este mărimea clasică corespunzătoare în ecuaţiile lui Maxwell. În ceea ce priveşte partea imaginară F2, ea pare să fie corelată cu mărimea, atât de importantă în electrotehnică, care se numeşte puterea reactivă.

Dezvoltând teoria undelor electromagnetice de bază, va trebui să nu se piardă niciodată din vedere anumite idei esenţiale de care teoriile actualmente la modă nu mi se par a ţine suficient seama. Pe de o parte, unda plană monocromatică nedefinită şi eternă nu este decât o abstracţie care nu e niciodată realizată. Pe de altă parte, undele staţionare care permit a defini moduri de vibraţie sunt cazuri particulare ce se prezintă numai când unda este închisă într-o regiune finită a spaţiului. O undă electromagnetică este întotdeauna emisă sub forma unui grup de unde având un front în faţă şi un front în spate, o

lungime l, o durată de emisie t şi o lăţime spectrală 8 v, toate trei finite, aceste mărimi fiind legate între ele prin relaţiile l = et şi Ov t1. Aceste idei, atât de clasice în optica ondulatorie, trebuie să fie, după părerea mea, în mod obligatoriu păstrate în cadrul noilor teorii şi din acest motiv asimilarea câmpului electromagnetic cu un ansamblu de oscilatori armonici, care e adeseori luată ca bază a teoriei cuantice a câmpurilor, mi s-a părut întotdeauna îndoielnică.

Fireşte, trebuie să admitem postulatul, rămas

A w fw w. * I* * w w 1 w 1

până acum iară justificare precisă, că o undă de bază nu poate purta decât un singur corpuscul în cazul fermionilor, dar poate purta un număr oarecare de corpusculi în cazul bosonilor. Acest din urmă caz este singurul care ne interesează aici fiindcă fotonii sunt bosoni.

Undele hertziene

Undele hertziene sunt formate din grupuri de unde de mare lungime, putând atinge sute de kilometri şi purtând un număr enorm de fotoni. Prezenţa fotonilor în grupurile de unde hertziene nu este îndoielnică fiindcă ele intervin în funcţionarea maserilor. La prima privire, poate părea extraordinar faptul că toate problemele privind undele hertziene pot fi foarte exact tratate folosindu-se numai ecuaţiile lui Maxwell şi aceasta chiar în domeniul» f hiperfrecvenţelor până la undele milimetrice. O validitate atât de largă a teoriei clasice a undelor poate părea greu conciliabilă cu existenţa fotonilor, dar teoria dublei soluţii, care afirmă că fotonii hertzieni sunt purtaţi de o undă electromagnetică de bază de foarte mică amplitudine, care impune faza sa vibraţiei interne a fotonilor, ni se pare a aduce o foarte interesantă rezolvare a acestei dificultăţi.

Să considerăm un radio-receptor conţinând un organ susceptibil de a intra în oscilaţie sub acţiunea unei unde hertziene incidente, acest organ p u t înd fi o antenă, un circuit oscilant, o cavitate rezonantă etc. Unda de bază care transportă fotonii pe care o vom presupune de forma

a sân 2 n-v (t), r fiind considerat în direcţia de propagare, are o ainplitudine mult prea mică pentru a pune receptorul în oscilaţie, dar fotonii pe care îi poartă, fiind în fază cu ea, aduc receptorului „eşantioane" ale unei unde la sân 27 tv (t – cu C foarte mare. Sosirea acestor eşantioane comunică receptorului impulsuri ritmate susceptibile să-l facă să intre în oscilaţie uniformă. Această punere în oscilaţie a unui receptor prin sosirea succesivă de eşantioane ale unei unde sinusoidale este clasică în tehnica radioelectrică şi aici se face cu ea pur şi simplu o aplicaţie de un gen special adaptată structurii fotonice a radiaţiilor hertziene. Această concepţie a structurii unei unde hertziene şi a acţiunii sale asupra unui receptor este, cred, cu totul caracteristică noilor orizonturi pe care ni le deschide interpretarea coexistenţei undelor şi corpusculilor de către teoria dublei soluţii.

Lumina emisă de sursele obişnuite şi de laseri în sursele obişnuite de lumină, atomii (sau moleculele) emit independent unii de alţii grupuri de unde de lungime destul de mică (de ordinul metrului), lungime ce poate fi măsurată experimental: fiecare din aceste grupuri de unde transportă în momentul emisiei sale un singur foton produs de t r audiţia cuantică pe care a suferit-o atomul din care iese el. Dacă sursa este de o intensitate foarte slabă, lumina trimi sa de ea pe un aparat de interferenţă va sosi sub forma unor grupuri de unde izolate purtând fiecare un singur foton. Celebrele experienţe efectuate mai întâi de Taylor în 1909, apoi de Dempster şi Batho în 1928 au arătat că, în acest caz, se obţineau în fân al, d u pă o expunere destul de lungă, aceleaşi fenomene de inte rfe rent a ca şi cu o lumină

9» *

Intensă şi o expunere scurtă[21]. Aceasta dovedeşte indiscutahil că fiecare foton ajunge în aparatul de interferenţă purtat de un grup de unde susceptibil să

21 Un rezultat analog a fost obţinut cu electroni la Toulouse, în laboratorul lui Dupouy, de către Faget, în teza sa de doctorat.

interfereze cu el însuşi.

Când se foloseşte o sursă de lumină intensă, cum e cazul uzual, grupurile de unde de aceeaşi frecvenţă einise de diverşi atomi ai sursei se suprapun, iar unda ce rezultă din această suprapunere e aceea care, în concepţiile mele, ghidează fotonii emişi şi le impune faza sa locală. Există deci în acest caz o „coerenţă" a foton lor între ei, dar această coerentă nu e decât

7 i parţială şi temporară, deoarece, grupurile de unde de bază nefiind emise de atomi decât în cursul unei durate de o sutime de microsecundă, componentele undei rezultante se schimbă continuu, apărând şi dispărând succesiv. Astfel se explică succesul teoriei coerenţei când este aplicată la formarea imaginilor furnizate de instrumentele optice. Aceeaşi concepţie ne permite de asemenea să interpretăm foarte simplu curiosul fenomen de corelaţie a intensităţilor provenind din două surse depărtate şi observate în puncte diferite (interferenţe de ordinul al doilea) evidenţiate în ultimii ani de către Handbury Brown şi Twiss. Din nou, succesul interpretărilor prin teoria ondulatorie clasică a fenomenelor, de care am vorbit adineauri, confirmă validitatea acestei teorii în domenii în care ea putea să pară destul de îndoielnică.

De o natură foarte diferită este lumina care doar de câţiva ani poate îi obţinută cu ajutorul laserilor. Funcţionarea laserilor, precum şi a maserilor de invenţie ceva mai puţin recentă, se bazează în esenţă pe remarcabila concepţie a emisiilor spontane şi a emisiilor stimulate ale atomilor, introdusă de Einstein într-o celebră lucrare din 1917. Prin mecanismul emisiilor stimulate se ajunge a se obţine cu laseri un grup foarte lung de unde luminoase purtând un număr considerabil de fotoni, adică un grup de unde a căror structură seamănă mult mai mult cu aceea a undelor hertziene decât cu structura undelor emise de sursele obişnuite de lumină. Studiul laserilor a evidenţiat, într-adevăr, un aspect foarte important: în timp ce emisiile spontane au loc fără nicio interacţiune a

atomului emiţător cu exteriorul (să nu uităm însă că el se află întotdeauna în interacţiune cu mediul subcuantic!) şi sunt total independente şi incoerente, emisiile stimulate sunt provocate în laseri de trecerea unui grup de unde incident pe un ansamblu de atomi şi ele sunt coerente între ele, adică în concepţia mea că atomii depun fotonii pe care îi emit pe unda electromagnetică de bază care îi traversează. Toţi fotonii emişi prin emisie stimulată se află astfel în fază cu unda de bază care îi transportă. Această deosebire de natură între emisiile spontane şi emisiile stimulate nu apărea în raţionamentul iniţial al lui Einstein deoarece acest raţionament se referea la radiaţia corpului negru care, prin însăs i definit ia sa, este în esenţă aleatorie şi incoerentă.

Noţiunea de coerenţă a fotonilor emişi de un ansamblu de atomi, a cărei importanţă se afirmă aici, nu poate fi definită decât prin intervenţia unui acord de fază al fotonilor cu o undă (care nu este în mod necesar monocromatică plană): ea implică deci existenţa unui cânt> ondulatoriu fiziceşte real şi întins, care acoperă ansamblul 111 umilor a căror emisie o stimulează şi care transportă fotoni în fază cu el. Interpretarea fenomenelor de coerenţă (cu ajutorul elementelor mediagonale a matricei densitate) adoptată de teoria cuantică a câmpurilor foloseşte formule care sunt fără îndoială exacte, dar care, după părerea mP.a, nu pot face în eleasă natura fizică reală a coerent ei.

Stări staţionare şi stări precursoare

Vom încheia cu probleme care fac obiectul preocupărilor mele actuale, dar pe care aici nu le pot menţiona decât în treacăt.

Din teoria atomului a lui Bohr (1913) se ştie că emisia liniilor spectrale de către atomi are loc atunci când atomul suferă o „tranziţie cuantică” care îl face să treacă brusc dintr-o stare staţionară de energie E1 într-o stare staţionară de mai mică energie

E2 cu emisia unui foton de frecvenţa v = El-E? h

Începând de atunci, s-a admis totdeauna în acord cu

Bohr că tranziţia cuantică este ceva ce scapă oricărei descrieri în termeni de spaţiu şi de timp.

a

În teoria dublei soluţii, ideea că adevărata ecuaţie a undei u reprezentând electronii atomului cu unda lor de bază este neliniară permite să se ia în considerare ipoteza că stările staţionare ar fi nişte cicluri limite analoge acelora pe care le întâlnim frecvent în teoriile neiiniare şi că tranziţiile cuantice ar fi nişte treceri bruşte şi foarte rapide de la un ciclu limită la altul: faptul că tranziţiile sunt procese neliniare ar explica de ce par ele imposibil de a fi reprezentate în cadrul teoriilor liniare uzuale. Această foarte interesantă idee a fost luată în considerare cu câţiva ani în urmă de Destouches şi Cap, apoi a fost reluată şi dezvoltată de micul grup de cercetători care lucrează cu mine, şi anume de Andrade e Silva şi Lochak. Considerată din punctul de vedere al termodinamicii ascunse a particulelor, pe care am dezvoltat-o recent, această problemă prezintă aspecte foarte interesante asupra cărora nu pot insista ale i

Destul de recent m-a izbit următorul fapt. Când dezvoltăm, în cadrul ideilor actualmente admise, teoria lărgimii liniilor spectrale[22], suntem conduşi să atribuim diverselor niveluri de energie ale unui a tom o anumită lărgime şi ajungem la o concluzie care, exprimată pe baza ideilor considerate astăzi ca ortodoxe, poate fi formulată după cum urmează:

lw. 1 W

lărgimea spectrală a unei linii emise cu ocazia unei

„” * *

tranziţii cuantice depinde nu numai de tranziţia ce a avut loc, ci şi de toate acele ce ar fi putut să se producă, dar nu s-au produs. Experienţa confirmă această previziune, însă interpretarea ce i se dă mi se pare cu totul paradoxală: într-adevăr, un fenomen fizic observabil nu poate depinde de fenomene fizice care erau posibile, dar

22 A se vedea, de exemplu, Heitler, Quantum theory of radiation, Oxford Clarendon Press, ed. a 5-a, 1954, p. 181 şi urm.

care nu s-au produs. Reflectând la această dificultate, am ajuns la ideea că calculul lărgimii liniilor spectrale, interpretat în mod obişnuit ca unul care ne dă numai o reprezentare de probabilităţi, este în realitate descrierea unei stări fizice a atomului ce precede tranziţia cuantică: această „stare precursoare" poate fi considerată, în cadrul ideilor menţionate mai sus, ca o mică variaţie calculabilă liniar deoarece e mică în raport cu ciclul limită care constituie starea staţionară iniţială[23]

Nu voi insista mai mult asupra acestei teorii a stărilor precursoare care este, la ora actuală, abia schiţată: scopul ei este de a înlocui reprezentările de probabilităţi, de altfel fără îndoială exacte, oferite de teoriile actuale, printr-o imagine precisă a evoluţiei reale a stărilor atomului. Ea ar trebui, de

9 1

w w w f asemenea, să ajungă să ne furnizeze o imagine a fenomenelor de emisie, eliberată de paradoxul semnalat mai sus. Ea ar trebui, în sfârşit, să ne determine să interpretăm, într-un mod foarte diferit de cel al actualei teorii cuantice a câmpurilor, şi, după părerea mea, mult mai apropiat de realitatea fizică, multe alte fenomene ca, de exemplu, uşoara deplasare a nivelurilor de energie ale unui atom sub influenţa unei radiaţii luminoase incidente, evidenţiată experimental în frumoasa lucrare recentă a lui Cohen Tannoudji, precum şi fenomenele atât de curioase descoperite recent şi desemnate sub denumirea de optică neliniară.

Concluzie

Imaginile realităţii fizice pe care ni le oferă teoria ondulatorie a radiaţiilor, sub forma ei electromagnetică, în domeniul undelor hertziene şi luminoase posedă o validitate foarte largă, mult mai largă chiar decât aceea a cărei existenţă ne-a revelat-o în 1916 principiul de corespondenţă al lui Bohr. Această validitate poate părea în contradicţie cu prezenţa, totuşi certă, a fotonilor în

23 În favoarea acestei concepţii a stărilor precursoare pot fi prezentate şi al te argumente.

structura acestor unde. Teoria dublei soluţii, reprezentându-ne fotonii ca nişte regiuni foarte mici, cu o foarte mare amplitudine ondulatorie, grefate pe o undă electromagnetică de bază de o foarte mică amplitudine, ne aduce o soluţie, poate chiar singura soluţie, a acestei probleme dificile. Dar putem oare înţelege ca o undă, a cărei amplitudine e atât de mică încât existenţa ei nu a putut fi niciodată (cel puţin până în prezent) decelată prin efecte energetice observabile, să poată fi un element indispensabil al unei bune reprezentări a realităţii fizice? După mine, motivul este că această undă atât de slabă e aceea care transportă fotonii, care ghidează mişcarea lor reglând repartiţia lor statistică în spaţiu şi care le impune faza sa explicând astfel eventuala lor coerenţă.

BIBLIOGRAFIE

Une tentative d'interpretation causale et non linbaire de la Mécanique ondulatoire: la theorie de la double solution, Gauthier-Villars, Paris, 1956.

La thsorie de la Mesure en Mécanique ondulatoire, Gauthier-Villars, Paris, 195 7.

L'interpretation de la Mécanique ondulatoire (Journal de Physique, vol. 20, decembrie 1959, p. 963).

Remarques sur la dualite des ondes et des corpuscules (Cahiers de Physique nr. 1 47, octombrie 1962, p. 425).

Étude critique de linterpretation actuelle de la Mécanique ondulatoire, Gauthier-Vi llars, Paris, 1963.

La Thermodynamique de la particule isolee (Thermodynamique cachee dejs particules), Gauthier-Villars, Paris, 1964.

Ondes Mlectromagnétiques et photon-9 (C.R. Acad. Se., P a îi's, vol. 258, p. 6 3 5, 29 iunie 1964), şi lucr area în pregătire pe aceeaşi temă.

COMPTES RENDUS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES Grupa 4

(Paris, vol. 260, p. 6041 – 6043, 9 iunie 1965)

Fizica teoretică.

— Despre relaţia de incertitudine 5 n 8 cp 2 rr. Nota[24] domnului Louis de Broglie, membru al Academiei.

Folosind ideile sale asupra coexistenţei undelor şi fotonilor în structura radiaţiilor, autorul propune o interpretare a relaţiei de incertitudine 8 n 87 2-i: a cărei adevărată semnificaţie a rămas până în prezent destul de misterioasă.

Teoria celei de-a doua cuantificări şi teoria

9

cuantică a câmpurilor care decurge din ea au condus la admiterea validităţii relaţiei de incertitudine între numărul de fotoni purtaţi de o undă electromagnetică şi faza sa

8 n S9 2 n.

S-a căutat legarea acestei relaţii cu a 4-a relaţie o 9»

de incertitudine a lui Heisenberg a cărei interpretare veritabilă a fost şi ea destul de discutată. Raţionamentul propus pentru a lega aceasta a 4-a relaţie de incertitudine

8 W. at h cu re 1 aţia (1) e’s te urni a toru J. Fie un gr ut cu: } de de frecvenţă v transportând n fotoni. Dacă incertitudinea asupra lui n este 8 n, incertitudinea asupra energiei este 8 lv = On hv. Pe de altă parte, se poate scrie 89 = 2 r: v8 t, unde estt: considerat ca o incertitudine a: – upra timpului.

Avem atunci 8 n 8 cp = (2 rc/h) 8W 8 t şi din (2) se deduce (1)...

Această demonstraţie nu mi se mai pare azi satisfăcătoare. În priinul rând a 4-a relaţie de incertitudine (2) se deduce din relaţia necuantică v 8 t >1, care este clasică în teoria undelor, şi înmulţind această inegalitate cu h se obţine (2). Or, nu avem dreptul să admitem că 8W = 8 n hv şi să introducem accs t 8W m (2) fiindcă incertitudinea 8W din (2) provine în realitate din lărgimea spectrală 8 v şi nu dintr-o incertitudine asupra numărului de fotoni (fără intervenţia lărgimii spectrale). Pe de altă parte, în relaţia 8 v8 t 1 din care derivă (2), 8 t nu este o

24 ŞcJinţa dm 31 mai 19G5.

incertitudine asupra coordonatei timp, ea este durata trecerii grupului de unde într-un punct al spaţiului său, dacă preferaţi, este durata t a emisiei grupului de unde de către sursă. Mi se pare deci că demonstraţia amintită mai sus se bazează pe confuzii.

Pentru a afla adevărata semnificaţie a relaţiei (1), mi se pare că trebuie pornit de la următoarea idee: în toate relaţiile de incertitudine ale teoriei cuantice referitoare la un produs de forma 8 aX X Zb, incertitudinile sunt incertitudini asupra rezultatului unei măsurători & mărimii corespunzătoare, cele două mărimi a şi b nefiind simultan măsurabile cu precizie în cadrul aceluiaşi proces de măsurare.

Putem aplica această idee la relaţia (1) deoarece n şi cp nu sunt măsurabile simultan. Într-adevăr, pentru a măsura pe n, ar trebui c'a cei n fotoni purtaţi de undă să fi făcuţi să producă efecte fotoelectrice separate şi numărabile. Din contră, pentru a înregistra faza, trebuie să-i facem pe fotonii grupului de unde să coopereze la producerea unei oscilaţii într-un sistem de genul circuitului oscilant, al cavităţii rezonante etc., aşa cum am explicat-o într-o notă anterioară[25]; or, această operaţie nu este compatibilă cu o numărare a fotonilor. Sunt deci îndeplinite condiţiile pentru ca să existe o relaţie de incertitudine între n şi cp.

Pentru a preciza punctul nostru de vedere, vom căuta să imaginăm un procedeu de măsurare astfel încât incertitudinile m şi 8 cp să poată avea amândouă o valoare finită. Fie un grup de unde purtând un număr necunoscut n de fotoni şi având o lărgime spectrală 5 V legată de durata de emisie t prin relaţia clasică

8 v t 1.

Dacă vrem să încercăm să determinăm în acelaşi timp, cu cea mai mare precizie posibilă, numărul de fotoni şi faza undei, trebuie să facem ca un grup de unde să traverseze un dispozitiv în care se produc efecte fotonice

25 Cornptes Rendus, 258, 1964:, p. 63 45. (A se vedea şi p. 117—118 din art. precedent).

de natură cuantică şi, în

W 1 f W w principiu, numărabile, apoi să-l facem să ajungă pe un sistem capabil să oscileze, înregistrând faza.

Dacă atunci, în dispozitivul de numărare a fotonilor apăruţi prin efectul fotoelectric, observăm în efecte, pe sistemul oscilant vor ajunge numai 8 n = n – în fotoni, fiind necunoscut deoarece n este necunoscut. Dacă cei fotoni în chestiune acţionează asupra circuitului oscilant prin impulsuri succesive ritmate pe faza undei, aşa cum am explicat în nota citată mai sus, este rezonabil să admitem că sistemul oscilant nu va putea să înceapă să oscileze uniform decât dacă primeşte cel puţin un impuls pe perioadă. Aceasta ne conduce să scriem (T/t) 1 sau, după (3).

Acum însă trebuie să definim ceea ce numim incertitudinea 8 cp. Propunem să o facem în modul următor. Dacă unda ar fi strict monocromatică, variaţia fazei sale în cursul unei perioade T = 1/v

P” 1 w A A w w ar fi egală cu 27 t, ceea ce înseamnă că ea nu ar varia fiindcă nu e definită decât cu aproape 27 t. În realitate însă, grupul de unde are întotdeauna o lărgime spectrală 8 v şi variaţia fazei pentru frecvenţa v +) v în timpul T va fi (până la 27 t)

(5) 8 cp = 27 tOvi = 2 lt.

V

Dacă admitem că 89 definit prin (5) poate fi considerat ca incertitudinea asupra valorii fazei, compararea formulelor (4) şi (5) ne dă imediat relaţia (1) care astfel corespunde într-adevăr unei experienţe în oare s-a căutat să se determine simultan, dar în mod necesar cu o anumită imprecizie, numărul n al fotonilor purtaţi de grupul de unde şi valoarea fazei sale.

Raţionamentul pe care l-am expus mai sus ne-a permis să regăsim relaţia (1) fără să fi recurs deloc la a 4-a relaţie de incertitudine a lui Heisenberg. Relaţia (1) ne apare aici ca rezultând exclusiv din ipoteza că sistemul oscilant suportă impulsuri discontinui datorate

incidenţelor succesive ale fotonilor purtaţi de grupul de unde, fotoni care sunt încorporaţi în acest grup de unde şi au o vibraţie interioară ritmată de vibraţia undei. Demonstrat ia noastră despre relaţia (1) decurge astfel din ideile generale la care ne-a adus concepţia noastră asupra coexistenţei fotonilor şi undelor în radiaţii.

Trebuie să adăugăm următoarea remarcă importantă relativ la definiţia (5) pe care am adoptat-o pentru 89: mărimea 8? nu trebuie să fie definită cu ajutorul fazei unei unde plane monocromatice, caz ideal care nu e niciodată realizat fizic, ci considerând un grup de unde de lungime finită având o lărgime spectrală 8 v. Mărimea 8 cp definită prin (5) măsoară deci într-un fel „lipsa de monocromaticitate" a grupului de unde şi acesta ar fi veritabilul ei sens. Cu alte cuvinte, adevărata semnificaţie a lui 8 cp din relaţia (l) nu ar trebui căutată în existenţa unei incertitudini asupra fazei unei unde plane monocromatice, ci în faptul că întotdeauna avem de-a face cu un grup de unde având o lărgime spectrală 8 v nenulă.

Din acest punct de vedere este interesant să punem definiţia (5) în legătură cu următorul fapt: folosind limbajul radioelec tricienilor, se poate spune că, pentru a înregistra exact compoziţia spectrală a undei incidente, sistemul oscilant folosit trebuie să aibă o „calitate" Q astfel încât „banda sa de trecere" d J, dată de relaţia d J/ J = a/Q (undea este un coeficient de ordinul unităţii), să fie cel puţin egală cu lărgimea spectrală 8 J a undei.

TERMODINAMICA „ASCUNSĂ" A PARTICULELOR

Interpretarea mecanicii ondulatorii

La sfârşitul verii 1963 s-au împlinit 40 de ani de când am simţit nevoia de a extinde la toate particulele dublul aspect ondulatoriu şi corpuscular pe care Einstein, în 1905, ni l-a revelat pentru lumină în teoria sa despre cuantele de lumină. După cum se poate constata, recitind teza de doctorat susţinută de mine la sfârşitul anului 1924, a cărei reeditare a fost terminată acum, scopul meu era să obţin o imagine sintetică în care corpusculul, considerat dintotdeauna ca un mic obiect localizat, deplasându-se în

general în spaţiu în decursul timpului, ar fi încorporat unei unde cu caracter fizic, astfel încât mişcarea sa să fie legată de propagarea undei.

Una dintre observaţiile esenţiale de la care am

pornit, şi care nu e niciodată menţionată astăzi în cărţile ce expun mecanica cuantică, este deosebirea dintre transformarea relativistă a frecventei

unei unde şi aceea a frecvenţei unui orologiu. Este bine cunoscut că, dacă frecvenţa unui orologiu considerată în sistemul său propriu este v0, frecvenţa pe care i-o atribuie un observator care îl vede trecând cu viteza v = e este ve = v0 l/ 1 – 2. aceasta e ceea ce se numeşte fenomenul de „încetinire a orologiilor" prin mişcarea lor. Din contră, dacă o undă, într-un anumit sistem de referinţă, este o undă staţionară de frecvenţă v0, acnastă.

undă observată într-un sistem de referint a animat de viteza v = pe în raport cu primul apare ca o

1 w w w A 1 * w * *

undă progresivă ce se propagă în sensul mişcării relative, cu frecvenţa v = – 3 – şi cu viteza de faza V = – = – D aşa i se atribuie corpuscu-ţi v râului, cum o sugerează re 1 aţi a fundamentală a cuantei W = h J, o fire e ven că internă Vq = – şi h dacă se admite că în sistemul propriu al corpusculului unda care îi este asociată este o undă staţi o – nară de frecvenţă Vq, toate formulele fundamentale ale mecanicii ond u latorii, şi în special e ele b ra f o rmulă A =!, în care p este cantitatea de mişcare a corpusculului, se deduc de îndată din observaţi de precedente.

Întrucât eu consideram corpusculul ca fiind localizat în mod constant în undă, am sesizat urmă t o a rea consecinţă: în i şi car e ac o rpu's culului e de o asemenea natură, încât asigură concordanţa permanentă dintre faza undei progresive care îl înconjură şi faza în ternă a corpuscul u lui considerat ca un mic orologiu. Această relaţie o; e verifică de îndată în cazul simplu al unui i corpuscul în mişcare uniformă, însoţit de o undă plană monocromatică, pe care am studiat-o în principal în teza mea. După teza mea, aprofundând această idee, am fost

condus să cred că, atunci când unda are forma generală

2 i y, z, t)

Y = a (r, y, z, de h în care a şi cp sunt reale, concordan la de fază între corpuscul şi unda sa cere ca viteza corpusculului în fiecare punct al traiectoriei sale să fie dată de

— 1 – v – grad cp.

Această e o neepţie se în Uln ă a cu aceea pe care, în aceeaşi epocă, o dezvolta Madelung, care compara propagarea undei – Y din mecanica ondutorie cu curgerea uani fluid fictiv având o densitate p = Y şi o viteză

— + 1

— O-rad cp. ni, o r

Ca şi imaginea hidrodinamică a lui Madelung, ipoteza mea privind mişcarea corpusculului se exprima spunând că traiectoria acestuia coincide cu una din liniile de curent ale fluidului hidrodinamic al lui Madelung. Se ajungea aşadar să se considere că propagarea undei impune corpusculului o mişcare determinată: e ceea ce am denumit

9

„Te oria undei-pilot”.

Am fost apoi nevoit să depăşesc acest prim punct de vedere. După părerea mea, nu era suficient de a suprapune corpusculul cu unda, impunându-i să fie ghidat de propagarea acesteia? trebuia să ne reprezentăm corpusculul ca încorporat undei, ca făcând parte din structura ei. Am fost astfel condus la ceea ce am numit „teoria dublei soluţii”: ea admite că unda reală nu este omogenă, că ea comportă o foarte mică regiune de înaltă concentrare a câmpului care constituie corpusculul în sensul îngust al cuvântului, dar că, în afara acestei foarte mici regiuni, această undă coincidea sensibil cu unda omogenă concepută de mecanica ondulatorie uzuală. Am expus atunci primele baze ale acestei concepţii noi într-un articol în Journal de Physique din mai 1927.

Din nefericire, această încercare în care nu introduceam încă ideea unui caracter neliniar al ecuat iei

de unde a undei reale se lovea de numeroase dificultăţi. Am expus de câteva ori, în altă parte, cum, în urma Consiliului Solvay din octombrie 1927, am abandonat această încercare şi m-am raliat, cel puţin cu titlu provizoriu, interpretării Şcolii de la Copenhaga, însă în anii ce au urmat am păstrat totdeauna un mod de expunere mult mai „obiectiv" decât cele care erau folosite din ce în ce mai des, pentru a nu mă îndepărta prea mult de intuiţiile mele iniţiale. În 1931, după ce am ţinut în anii precedenţi cursuri despre interpretarea mecanicii ondulatorii, fiind nevoit să trec în revistă obiecţiile ridicate de oameni de ştiinţă ca Einstein, Schrödinger şi alţii împotriva interpretării uzuale, mă aflam într-o stare de spirit favorabilă unei reveniri la vechile mele concepţii: lucrările lui David Bohm, de care luasem cunoştinţă atunci, şi înd elu ngatele discuţii asupra acestei probleme cu Jean-Pierre Vigi ei ni-au determinat să reiau teoria d u blei solu ţ îi introducând în ea i d cea ne lini antăţii.

Nu pot dezvolta aici progresele realizate în ultimii ani în interpretarea mecanicii ondulatorii prin teoria dublei soluţii. Dezvoltarea ei progresivă va putea fi urmărită consultându-se două lucrări pe care le-am publicat la Gauthier-Villars în 195G şi 1957 şi un articol publicat în Journal de Physique în decembrie 1960. Am publicat de curând, tot la Gauthier-Villars, un volum consacrat unei critici» j

minuţioase a unei serii de mici erori de inter pre t are în " * ce

care mi se par a fi contribuit la orientare a fizicii cuantice pe o cale greşită. Nu vreau să omit a sublinia sprijinul continuu pe care Andrade e

Silva mi l-a dat în munca mea în decursul ultimilor ani prin fineţea analizelor's ale şi mai ales la redactarea ultimei me le cărţ i.

Superpoziţia unei mişcări aleatorii la mişcarea uniformă a „ghidării".

Am văzut că în teoria dublei soluţii (sau a undeipilot) determinăm mişcarea corpusculului în sânul

2 d h undei sale, exprimată sub forma a e admiţând că viteza sa este dată de formula ghidării:

V = – în gr ad q>, în fiind masa corpusculului. Această formă a formulei ghidării nu e valabilă decât în mecanica on d u latorie nerelativis tă core se unzând ecuaţiei de propagare a lui Schr Odinger. În mecanica ondulatorie relativistă corespunzând ecuaţiei de propagare a lui Klein-Gordon, formula ghidării pentru o particulă cu sarcină electrică e, plasată într-un câmp electromagnetic derivând dintr-un potenţial scalar V şi dintr-un potenţial vector A, ia forma

$$v = -\frac{\text{grad } A}{\frac{\partial \varphi}{\partial t} - \varepsilon V}$$

care, cu aproxiinarea newtoniană, se reduce într-adevăr la forma (1). În cazul particulelor cu spin (de exemplu, pentru electronul lui Dirac), formula ghidării se va deduce scriind totdeauna că particula urmează una din liniile de curent ale cu rgerii hidrodinamice care corespunde ecuaţiilor de pro – pagare.

Cred că fenomenul ghidării particulei de către câmpul (ondulatoriu) înconjurător rezultă, ca în teoria re la t ivităţii generale, din faptul că ecuaţiile câmpului sunt neliniare şi că această neliniaritate, care se manifestă aproape exclusiv în regiunea corpusculară, solidarizează mişcarea particulei cu propagarea undei înconjurătoare. Folosind o metodă analogă aceleia pe care o folosise cândva Georges Darmois pentru a justifica „postulatul geodezicelor” în teoria relativilăţii generale şi care a fost dezvoltată de Lichnerowicz, corpusculul poate fi reprezentat aproximativ ca o singularitate a câmpului ondulatoriu şi se poate demonstra că, pentru motive de continuitate, singularitatea în mişcarea lui trebuie să rămână mereu închisă în interiorul unui tub infinit de subţire de linii de

curent ale câmpului exterior. Nu pot însă stărui aici

asupra acestei justificări a formulei ghidării.

Există însă o consecinţă a formulei ghidării asupra căreia trebuie să insist. Chiar atunci când o particulă nu e supusă nici unui câmp exterior, dacă unda care o înconjură nu este o undă sensibil plană şi monocromatică (deci dacă această undă trebuie să fie reprezentată printr-o superpoziţie de unde plane monocromatice), mişcarea pe care i-o impune formula ghidării nu e rectilinie şi uniformă. Aceasta m-a făcut să cred, începând din 1927, că corpusculul era supus, din partea undei înconjurătoare, unei forţe care îi curba traiectoria: această „forţă cuantică" ar fi egală cu gradientul cu semn schimbat al unui potenţial cuantic Q a cărui expresie în mecanica ondulatorie nerelativistă este:

Q =

a

În mecanica ondulatorie relativistă însă trebuie considerat că forţa cuantică este egală cu gradientul cu semn schimbat al can ti tătii

9

MOc2 = Win0 c4 + – 8Î – Al.

y 47 t2 a \ c2 8 tJ f

Întrucât potenţialul cuan t ic Q e de fini t abstracţie făcând de o constantă, se poate scrie

Q = MOc2 – mOc2.

Cantitatea M0, care e în general funcţie de x, y, z şi t şi care, atunci când Q este zero, se reduce la masa proprie constantă m0 atribuită de obicei particulei, poate fi denumită „masa proprie variabilă" a particulei: ea va juca un mare rol în cele ce urmează. De altfel, e foarte uşor de verificat că definiţia (5), ţinând cont de valoarea (4) a lui N, se reduce în aproximaţia newtoniană la definiţia (3) e

Teoria ghidării, care foloseşte formulele pe care le-am precizat adineauri, impune particulei o mişcare bine determinată atunci când se stabileşte poziţia sa în undă la un moment iniţial dat. Acesta era punctul de vedere pe care l-am adoptat iniţial în 1927 şi la care mă menţineam încă atunci când am reluat teoria dublei soluţii, în urmă cu

doisprezece ani. Curând însă mi-a apărut cu o evidenţă crescândă că această concepţie nu era suficientă şi că mişcării uniforme şi într-un fel „medii" a particulei pe care o defineşte formula ghidării trebuia să i se suprapună un gen de mişcare „brownoidă" cu caracter aleatoriu.

Pentru a ne da seama de necesitatea de a introduce acest nou eleme n t în teorie, trebuie să ne amintim că dacă p reprezintă densitatea fluidului fictiv în imaginea hidrodinamică a propagării undelor, densitate care, în mecanica ondulatorie nerelativi stă, este egală cu Y (x, y, z, t) \2, am fost de terminaţi să considerăm că cantitatea p d-i dă pro b abilitate a prezenţei p articulei în momentul t în elementul de volum d-i al spaţiului fizic. Pentru a încerca să justificăm acest rezultat în teoria dublei soluţii, se poate porni de la ecuaţia de continuitate a fluidului fictiv

— + div (() = 0,a

— 7

ecuaţie în care v este tocmai viteza de ghidare. Dacă examinăm mişcarea unui element de volum care conţine totdeauna aceleaşi elemente ale fluidului, vedem că ecuaţia (6) care, cu o notaţie bine cunoscută în hidrodinamică, se poate scrie

(p d-i) = O

exp rimă conservarea în decursul timpului a produsului p d-i. După cum în mecanica statistică clasică, teorema lui Liouville, care se exprimă prin d d-i =

= 0,face a priori foarte verosimil faptul că probabilitatea prezenţei punctului reprezentativ al unui sistem în elementul d-i al extensiunii-în-fază e: „te proporţională cu mărimea acestui element, tot astfel aici ecuaţia (7) face a priori foarte verosimil faptul că probabilitatea prezenţei particule i în elementul d-i al spaţiului fizic este proporţională cu pd-i. Există o mare analogie între cele două probleme, cu deos ebirea totuşi că în i neca nica statistică mişcarea este considerată dintr-un punct de vedere reprezentativ în extensiunea-în-fază, pe când aici noi considerăm mişcarea unei particule în spaţiul fizic.

Analogia dintre cele două probleme atrage după sine o analogie între dificu ltă ţi le întâlnite atunci când se examinează cu grijă demonstr a ţi-a rezultat ului dorit. Şi într-un caz, şi în cel al alt, validitatea rezultatului ar cere ca el ement u l, în cursul mişcării sale, să acopere totalitatea spaţiului (extensiuneân-fază într-un caz, spaţi u fizic în cel ăl alt) care îi este accesibil. Se ştie că, pentru a justifica această ipoteză, suntem conduşi în mecanica statistică fie să căutăm a d emons tra o teoremă de e r godicitate, fie că introducem ca Boltzmann o ipoteză de „haos molecular". În probl ema care ne preocupă, David Bohm şi Jean-Pierre Vigier au urmat cea de-a doua cale atunci când au introdus, în 1954, într-un articol din Physical Re? iew ideea „mediului subcuantic", idee care mi-a apărut de îndată ca fiind de o importanţă crpitală.

După Bohm şi Vigie r ar exista un mediu a's cuns, corespunzând unui nivel mai profund al realităţi i fizice decât nivelul cuantic sau microfizic, mediu cu care toate particulele de la nivelul microfizic s-ar afla permanent în interacţiune. Complexitatea acestui mediu, a cărui natură mi se pare prematur să vreau s-o precizez cu exactitate, ar avea drept consecinţă antrenarea caracterului pur a le ato r în al pe r turbaţiilor pe care acţiune a lui le impune mişcării particulelor microfizice.

Sub influenţa acestor perturbaţii aleatorii continui, pe care i le comunică „mediul subcuantic", particula, în loc să urmeze în mod uniform una din traiectoriile definite de legea ghidării, sare mereu de pe una din aceste traiect or îi pe alta, parcurgând astfel, într-un timp fo' ar te scurt, un foarte mare număr de tronsoane ale acestor traiectorii şi, pe când unda rămâne izolată într-o regiune finită a spaţiului, această traiectorie în zi g – z ag se gr a b este să exploreze complet toată această regiune. În acest caz scă poate justifica afirmaţia că probabilitatea prezenţei particulei într-un element de volum d-i al spaţiului fizic trebuie să fie luată ca egală cu Y 2 d t. E ceea ce au făcut Bohm şi Vigier în memoriul lor: ei au arătat că repartiţia de probabilitate în Y 2 trebuie astfel să se facă foarte

repede. Andr ade e Silva, care are f l e e t a t mult asupra acestui subiect, a legat succesul acestei demonstraţii de proprietăţile „lanţurilor lui Markov”.

Fără a insista asupra acestor demonstraţii, aş vrea să dau o imagine care va preciza sensul celor de mai sus. Să considerăm curgerea unui fluid: hidrodinamica defineşte traiectoria unei molecule a acestui fluid care, în fiecare din punctele ei, este tangentă la „linia de curent” care trece prin acest punc t şi care, în cazul unei mişcări permanente, coincide cu una din liniile de curent. Or, traiectoria astfel definită nu este decât o traiectorie „ideală” sau „medie” care nu ar putea fi efectiv descrisă decât dacă molecula nu ar suferi nicio perturbaţie. Dar nimic din toate acestea nu se întâmplă: fluidul nefiind niciodată la zero absolut, moleculele sale sunt animate de o agi t aţ le termică datorată ciocnirilor lor reciproce neîncetate şi, din acest motiv, fie care dintre ele trece mereu de pe o traiectorie teoretică pe alta. Pentru că mele culele descriu astfel o traiectorie care e continuu în zigzag, este permis, dacă p reprezintă densitatea fluidului, de a considera cantitatea pe t ca măsurând probabilitatea prezenţei unei molecule date în elementul d-i.

Pentru a încheia demonstrat ia necesităt îi de a introduce în teorie perturbaţiile Born-Vigier de origine subcuantică, voi considera cazul unui atom de hidrogen într-o stare staţionara de energie E în care funcţia de undă are forma

Y = a (x, y, z) e

Formula ghidării ne dă atunci v = O: aceasta vrea să spună că electronul este imobil într-un punct al atomului şi se verifică de altfel uşor că, în acest caz, forţa Coulomb pe care nucleul o exercit a asupra electronului este exact echilibrată de fort a cuantică. Dar dacă electronul ar fi astfel imobil, cum’s – ar putea înţelege ca probabilitatea prezenţei electronului în orice punct al atomului să fie dată de expresia l’Yj = a (x, y, z) \2?

Totul se poate explica dacă se admite că electronul, rămânând „în principiu” imobil, saltă mereu de pe o poziţie

pe alta, sub influenţa perturbaţiilor continue de origine subcuantică. Şi acest exemplu demonstrează, într-un mod pregnant, necesitatea de a face ca aceste perturbaţii să intervină în teoria dublei soluţii, adică de a suprapune mişcării uniforme a particulei, prevăzută de teoria ghidării, o mişcare brownoidă cu caracter aleatoriu.

Introducerea ideii unei termodinamici ascunse

Se ştie că la sfârşitul secolului trecut, datorită îndeosebi lucrărilor lui Boltzmann şi Gibbs, s-a dezvoltat o interpretare statistică a termodinamicii al cărei succes a fost în cele din urmă total. Dar, în aceeaşi perioadă, unii autori, şi mai cu seamă Helmholtz şi Boltzmann însuşi, au căutat, cu un anumit succes, să facă apropieri între mărimile introduse de termodinamică şi anumite mărimi ale mecanicii clasice fără nicio intervenţie a consideraţiilor statistice. Aceste încercări interesante au fost apoi destul de mult date uitării şi nu au mai fost deloc folosite decât în teoria invarianţilor ad-abatici (Leon Brillouin).

În cursul anilor 1946 – 1948 am reluat în Notele publicate în Comptes Rendus de lAcademie des Sciences, într-un curs la Ins ti tu tul l-lenri Poincaré şi într-un articol din Cahiers de Physique analiza vechilor mele lucrări şi, fireşte, am încercat să le apropii de concepţiile mecanicii ondulatorii. Am fost astfel obligat să definesc pentru o particulă în mişcare cu viteza pe o temperatură T, legată de frecvenţa ciclicl internă a particulei care, precum am văzut, este dată de

Ve = V0 VT = – h prin relaţia ki = hve, în care k este constanta lui Boltzniann. Am fost de a emonea determinat să definesc o entropie pornind de la acţiunea particulei în sensul mecanicii. Aceste analogii nu-mi dădeau deplină satisfacţie, dar mi se păreau foarte curioase. De aceea mi-am terminat articolul din Cahiers de Physique din ianuarie 1948 cu următoarea frază, marcată de o anumită ezitare: „Există aici amorsa unei termodinamici a punctului material pe care am putea să căutăm să o dezvoltăm în cadrul mecanicii ondulatorii: este destul de greu de spus unde ar pute a duce acest drum, dar noi ne vom mulţumi

că i-am indicat punctul de plecare”.

De unde provenea ezitarea pe care această frază o lăsa să transpară? Ea venea din faptul că, convins că termodinamica este în esenţă de origine statistică şi nu are sens decât pentru sisteme foarte complexe, nu eram în stare să înţeleg cum ar putea exista o termodinamică valabilă pentru o particulă presupusă izolată şi de aceea, timp de câţiva ani, am renunţat la încercările menite să dezvolte o teorie de acest gen.

Acum doi ani însă am hotărât să revin la studiul ideilor care, totuşi, îmi reţinuseră puternic atenţia. Or, la acea epocă, după ce reluasem de câţiva ani reflecţiile mele asupra teoriei dublei soluţii, admiteam existenţa mediului subcuantic. Foarte curând, mi-a venit brusc în minte o idee. Dacă orice parţi

1 W * 1. W 1 W * * W

culă care ne apare izolată la scară microscopică poate să schimbe continuu energie şi cantitate de mişcare cu mediul subcuantic, acesta joacă rolul unui „termostat ascuns” cu care particula este continuu în contact energetic. În consecinţă, a voi să dezvoltăm o termodinamică a particulei izolate nu mai prezintă a priori niciun paradox. E ceea ce am încercat să fac în prima Notă din Comptes Rendus de lAcademie des Sciences, în august 1961, apoi, într-un mod care mi se pare mai satisfăcător, în alte două Note din Comptes

Rendus de lAcademie des Sciences, în august 1962. Actualmente termin redactarea unei cărţi în care voi expune, aşa cum am făcut în ultimul meu curs la Institutul Henri Poincaré, în iarna 1961 – 1962.

— i * * principiile acestei „termodinamici a particulei izolate”[26]. Voi remarca, deaJ tfel, că această termodinamică fiind aplicabilă la ansambluri de particule aflate în interacţiune, care sunt toate în contact energetic cu termostatul ascuns, denumirea de „termodinamica ascunsă a particule lor” ar fi poate preferabilă denumirii pe care, din motive evidente, am adoptat-o la început.

26 A se vedea bibliografia la sfîrşitul articolului.

Dar înainte de a vă expune bazele şi câteva aplicaţii ale acestei foarte atrăgătoare teorii noi, trebuie în prealabil să reamintesc unele noţiuni ale termodinamicii relativiste care sunt cunoscute de multă vreme (lucrările lui Planck şi ale şcolii sale în jurul anului 1910), dar sunt rareori predate la cursuri la facultăţi.

Reamintirea ătorva noţiuni de termodinamică retativistă în termodinamica relativistă se demonstrează că, dacă un corp considerat în sistemul său propriu posedă o temperatură To şi conţine o cantitate de căldură 00, pentru un observator care îl vede trecând cu o viteză pe el are o temperatură T şi conţine o cantitate de căldură Q care sunt date prin formulele:

T = T01/Tp* Q = O.1/T-ţi

Se demonstrează de asemenea, şi aceasta rezultă aproape imediat din formulele (8), ca entropia este aninvariant relativist, adică S = S-o.

Înainte de a merge mai departe, vom face o convenţie de notaţie care ne va fi foarte utilă în continuare. Dacă A este o mărime a cărei valoare depinde de masa proprie M0 a unui corp, precum şi de alţi parametri, cum ar fi viteza sau poziţia acestui corp, vom nota prin [8A] m „mica variaţie pe care o suferă A atunci când, menţinând pe M0 constant, facem să varieze uşor ceilalţi para metri, şi prin & m0 A mica variaţie pe care o suferă A atunci când facem să varieze uşor M0, ceilalţi parametri rămânând constanţi. Aceasta fiind admis, să considerăm un corp în sistemul său propriu: masa proprie a sa va fi Mq şi, conform principiului inerţ iei energiei, energia sa internă va fi W0 = Mql2. Dacă masa lui proprie suferă o uşoară variaţie SMQ, energia lui internă va varia cu 8W0 = 8 Mql2 Aceasta nu poate avea loc decât dacă corpul a primit sau a cedat cantitatea de energie 8W0 şi, cum energia internă este o energie înmagazinată în interiorul corpului, cantitatea 8 Mqc2 trebuie considerată ca o cantitate de căldură 800. Deci pentru un observator care vede trecând un corp cu viteza Pe, cantitatea de căldură primită sau cedată de corp va fi

(9) 8Q = 8 Qo]/T = J* = 8 Mqc2 YT-ţi.

Or, după cum e bine cunoscut în dinamica relativistă, pentru acest observator funcţia Lagrange va fi termenii de grad superior nescrişi nedepinzând de Avem deci

BQ = – hi0.

Această formulă poate fi uşor regăsită prin alte raţionamente mai complete pe care le voi da în cartea pe care o pregătesc. Voi arăta unul din ele.

Să ne plasăm în sistemul observatorului care vede trecând corpul cu viteza Pe. El poate scrie cele două formule ale dinamicii relativiste astfel:

W = – IT = f:

1/l-iH₂ de LV 13 J

141

Din cea de-a doua extragem următoare a expresie a lucrului p rim it de cor p în cursul timpului 8 t:

M O v

8 l; = fv 8 t = v 8

V l-P2

Dacă se presupune că masa proprie este constantă, aşa cum se face în mod obi şi n uit în dinamica r relativistă, se verifică uşor că lucrul în chestiune

9 9

are ca valoare

[SGH = [W] m»

ceea ce e normal. Dar dacă masa proprie poate varia, vom avea pentru lucrul furnizat corpului

8 (; = [= [8W jM. +

+ vt-l» o

Or, avem şi în acest caz aw = [siv] m. + 7T = r 8 Jio şi din ecuaţiile (15) şi (16) rezultă

8 W = 8 (; + 8AV2 V 1 – (*2.

Întrucât principiul conservării energiei dă 8 l1 = + 8Q, în care 8Q este cantitatea de căldură primită de corp, vom regăsi formulele (9) şi (11).

Termodinamica particulei izolate sau termodinamica ascunsă a particulelor

Pentru a dezvolta term odi namica particulei izolate vom admite mai întâi că putem aplicau n ei particule izola

te-a scării microfizice formula

8 Q =

În plus, vom admite de asemenea, în acord cu vechile mele idei din 1946 – 1948, că particula, în contact permanent cu termostatul ascuns, po a te fi considerată ca având o temperatură T definită p r informula care are covarianţa relativistă dorită

Vom defini entrop i-a ra p o r tân d – o la terniostatul ascuns care este un sistem foarte complex. Inspirându-ne din metoda folosită în trecut de Einstein în lucrările sale asupra fluctuaţiilor, vom scrie en tropi a S a termostatului ascuns sub forma

S = Sq + S (MQ), în care Sq este partea acestei entropii care este n depende n tă de valoarea fluctuantă a masei proprii Mq a particulei, pe când S (M0) este partea mică a acestei entropii care depinde de valoarea lui JTV Vom avea atunci

SMS = 8S (M0) = – Ş =.

Semnul –, figurând înaintea lui 8Q, provine din faptul că 8Q este căldura cedată parţi cu lei de termostatul ascuns. Folosind formulele (10) şi (11), obţinem

9

8 S (Mq) = – k.

mo de unde, în sfârşit, formula fundamentală în care invari an ţ a numărului al doilea este bine scoasă în evidenţă.

E uşor de tras din această formulă o primă consecinţă importantă. Într-adevăr, după formula lui Boltzmann care leagă entropia de probabilitate, probabilitatea valorii Mq a masei proprii’s fluctuante trebuie să fie proporţională cu e * – m.

adică cu e m>. De aici se trage concluzia că va

143

loarea medie a lui M0 pentru o particulă în afara oricărui câmp de forţe (clasic sau cuantic) este:

r°° a/o

(22) O = rac° = m0

J’J

e (.1 Mo

Astfel masa proprie constantă m0, atribuită de obicei particulei, ne apare ca valoarea medie a veritabilei mase proprii instantanee Af care este fluctuantă.

O altă consecinţă interesantă a acestei teorii

9

1”. i w t «i este stabilirea unei legături între principiul minim e i

* 1 1 ” * i» acţiun: şi al doilea principiu al termodinamicii.

Principiul minimei acţiuni al lui Hamilton ne spune că, dacă în mişcarea sa naturală, conformă cu legile dinamicii, particula porneşte de la un punct A

În momentul o pentru a ajunge într-un punct B

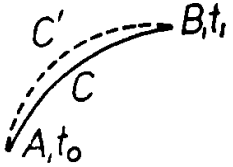
În momentul tx integrala de acţiune luată de-a lungul acestei mişcări este minimă în raport cu aceeaşi integrală luată de-a lungul oricărei mişcări

„Variate” care ar aduce particula de la punctul A

În momentul to la punctul B în momentul tv suntem deci conduşi să scriem dt = 0,[8*J2]”. di >O.

J’o JI”.

primele şi secundele variaţii ale lui J2 fiind luate inenţinându-se masa proprie Mo constantă şi egală cu valoarea sa normală n? o



Am introdus aici o ipoteză care mi se pare a avea o semnificaţie fizică foarte interesantă.

ACB fiind traiectoria naturală, am presupus că traiectoriile variate, cum ar fi AC B, nu corespund, cum se presupune de obicei, unor mişcări fictive

1 w *

Imaginate de teoretician, ci unor mişcări care pot realmente avea loc când masa proprie Mo a particulei suferă între t0 şi ţi-o anumită suită de fluctuaţii. În acest caz traiectoria fluctuată ACB trebuie.

9 7

după principiul lui Hamilton, să fie determinată de ecuat ia

9

C 8 (J2 + 8JZ) dt = C* (8) 2 + &) & = O.

J-o JU

Aici însă masa proprie nemaifiind presupusă constantă, trebuie să scriem

(25) 812 = [812] M0 + 8212 – [& 2-] m0 +

În care desemnează totalitatea termenilor care, în 82) 2, depind de variaţia lui Mq-Avem deci pe ACB

(26) (([812] m0 + 80J2 + [82J2] m0 + M" J2} dt = O.

Integrala primului termen este însă nulă în virtutea principiului lui Hamilton şi se poate verifica uşor că al patrulea termen este neglijabil faţă de ce ilalţi. În final, ţinând cont de (23), rămâne

— (8 m0 J2 d t = – (ti – 10) 8 m0 12 =

J-o

= C [8212] M.X. dt >O.

Jto cipiul minimei acţiuni şi al doilea principiu al termodinamicii, atunci când se adoptă cadrul nostru de idei[27].

Situaţia unei particule în contact energetic permanent cu un termostat ascuns prezintă o anumită analogie cu aceea a unei granule, vizibilă la microi w scopul optic şi supusă acţiunii gravitaţiei, care se află în suspensie într-un fluid ale cărui molecule constituie un termostat ascuns. În momentul în care Jean Perrin urmărea celebrele sale experienţe pe granule de acest gen, teorii termodinamice a p rol undate ale fluctuaţiilor de altitudine ale granulelor în fluid au fost dezvoltate de Smoluchowskv, o

În special cu metoda lui Einstein, şi ele sunt f o ar t p interesant de comparat cu teoria noastră.

---

27 în termeni mel aforici sp poate spune că 1 raiectori a naturală urmează tal vegul n nci văi de nege n tropic. Pentru cazul în care între A si B cxislă un „focar cinetic" în raport cu A, a se vedea C.R. Acad. Sr.“, vol. 2f)7, 1963, p. 1 822. Această notă e reprodusă m1.i departe.

Tranziţiile cuantice şi „prerogativa’ stărilor monocromatice

De la enunţarea teoriei atomului a lui Bohr, în

9 3

s-a atribuit tranziţiilor cuantice, care fac ca un sistem cuantificat să treacă de la o stare’s Lationară la alta, un caracter ce ar putea fi calificat drept mistic. Într-adevăr, se renunţă să se facă despre ele vreo imagine, iar Bohr nu a ezitat să afirme că „transcendau” orice descriere în termeni de spaţiu şi de timp. Ceea ce l-a determinat pe Schri) – dinger să spună cu ironie că în teoria cuan Lici” i actuală se descriau minuţios stările staţionare în care nu se pe trece nimic, dar că se refuza să se vor b e ască de tranziţiile cuan ti ce în care se petrec* ceva.

Ideea introdusă de teoria dublei soluţii că mecnnica ondulatorie, în ultimă analiză, trebuie să se bazeze pe ecuaţii neliniare permite sa de creaţii t că, dacă tranziţiile cuantice scapă teoriei uzuale, aceasta se explică prin faptul că ele constituie procese esenţialmente neliniare. Ele ar fi procese tranzitorii foarte scurte, analoge acelora întâlnite

1 * A * 1 „1 * * A w» A

deja în mai multe teorii neliniare în mecanica şi în fizică, atunci când are loc trecerea bruscă de la un ciclu limită la un altul. Această idee foarte atrăgătoare a fost deja examinată, cu câţiva ani în urmă, de Cap şi Destouches şi a fost reluată de curând de Fer, Lochak şi Andrade e Silva care au / t publicat în legătură cu aceasta comunicări de mare interes.

Or, când Fer, Lochak şi Andrade e Silva au luat cunoştinţă de prima mea notă din august 1961 asupra termodinamicii particulei izolate, după ce mi-au atras atenţia cu multă dreptate că formulele mele deduse din relaţia dă = – nu se aplicau

9 j, r decât fenomenelor reversibile, ei mi-au sugerat că stările tranzitorii foarte bruşte pe care le-au examinat ar putea foarte bine să fie transformări însoţite de o bruscă creştere a entropiei şi că trecerea de la o stare staţionară

la o alta ar putea, într-adevăr, să comporte trecerea unei văi de entropie (sau a unui munte de negentropie).

În cursul iernii 1962 – 1963, am fost determinat să reflectez mai profund asupra acestor sugestii interesante. Pentru a face înţeleasă orientarea gândirii mele în această privinţă, voi porni de la observaţia că, în teoria uzuală, se acordă un fel de prerogativă stărilor ce pot fi calificate ca „monocromatice", precizând că înţeleg prin aceasta, pe de o parte, stările staţionare ale sistemelor cuantificate ce sunt asociate unei unde staţionare monocromatice, reprezentată printr-o funcţie proprie principiului Hamiltonian, pe de altă parte, în cazul particulelor în mişcare progresivă, stările asociate unor grupuri de unde limitate, care sunt asimilabile în partea majoră a extensiunii lor unei unde plane inonocrornalice. Această prerogativă constă în faptul că aceste stări monocromatice sunt privite ca realizate mai normal decât stările reprezentate printr-o supprpoziţie de funcţii proprii sau de" unde plane monocromatice. De] a începuturile teoriei atomice a lui Bohr, atomul a fost considerat ca aflându-se totdeauna în mod necesar într-o stare staţionară, iar când, mai târziu, teoria lui Bohr a fost tradusă în limbajul mecanicii ondulatorii, s-a admis că stările reprezentate prin superpoziţii de funcţii proprii nu aveau decât o existenţă foarte efemeră şi că, în definitiv, atomul era totdeauna sesizat de observaţie într-o stare staţionară reprezentată de una din funcţiile proprii. În teoria cuantică a câmpurilor, aceeaşi prerogativă se manifestă prin faptul că „numerele de ocupare" sunt în general raportate la undele plane monocromatice. Într-unul din articolele foarte pătrunzătoare pe care le-a consacrat criticii concepţiilor cuantice actuale, Schr Odinger s-a mirat, pe bună dreptate, de această prerogativă a stărilor monocromatice; el credea că era nejustificată, deoarece a priori o stare de superpoziţie are un caracter mai general decât o stare monocromatică (funcţia Y = B Ci Y este mai generală decât funcţia Y = Yi). Şi totuşi succesul ipotezei că stările monocromatice au efectiv o prerogativă nu

permite deloc să ne îndoim, contrar opiniei lui Schr Odinger, că această prerogativă nu ar fi justificată.

Totul s-ar putea însă explica dacă s-ar admite, cum am fost condus să o fac, că stările de super

A 1. * * w poziţie, având o entropie mai mică şi, ca urmare, o probabilitate mai slabă decât stările monocromatice, a. j. L". «…

sunt oarecum instabile, iar tranziţii cuantice cu caracter ireversibil (şi poate chiar în anumite cazuri procese reversibile) readuc totdeauna rapid particulele sau sistemele spre stări monocromatice cu o entropie mai ridicată. În acest caz devine evident că stările de superpoziţie vor fi, în general, de scurtă durată şi vor tinde să se transforme în stări monocromatice de îndată ce condiţiile impuse particulei sau sistemului vor perini te schimburi de energic sau de cantitate de mişcare necesare pentru aceasta.

Pentru a aşeza pe o bază solidă ideea pe e are am expus-o mai sus, ar trebui demonstrat la modul general, pornind de la termodinamica ascunsă a particulelor, că entropia stărilor de superpoziţie este infe r io ară aceleia a's ţări lor monocromatice. Nu posed la ora actu à la o demonstraţie general a a acestui fapt, dar am găsit demonstraţii într-un anumit număr de cazuri particulare. Pentru a nu lungi prea mult această expunere, nu voi da aici aceste demonstraţii şi mă voi mulţumi să arăt principiul lor.

Scriu mai întâi, din nou, definiţiile (5) şi (21) ale potenţialului cuantic şi entropiei:

Q = Mc* – mOc", S = S0 – k m0

care ne determină să scriem

S = Se – k – k c2

Or, în cazurile pe care le-am p putut studia, potenţialul cuantic Q este nul în stările monocromatice astfel încât aceste stări au entropia „standard" S = Se – k. În stările de superpoziţie, Q este diferit de zero şi se poate demonstra uşor că Q = f Qa-d t este pozitiv. Entropia unei stări de superpoziţie va avea deci, după (28), ca valoare în

e d i e

De aici rezultă că, în cazurile pe care le-am putut studia, entropia stărilor de superpoziţie este, în medie, inferioară aceleia a stărilor monocromatice.

Este interesant de remarcat că instabilitatea stărilor de superpoziţie pare astfel a fi legată de apariţia în aceste stări a unui potenţial cuantic

* 1 W *

pozitiv care atrage după sine o creştere a masei proprii Mo a particulei sau a sistemului, iar de aici, conform for mu lei fundamentale (21), o diminuare a cniropici. Aceasta pare t'a denioiisireze legătura's Lrinsă care exis la in re termodinamica nuasiră ascunsă şi noile noţiuni care au fost introduse de teoria ghidării şi de teoria dublei soluţiii.

Concluzie

Am prezentat o viziune de ansamblu a evoluţiei gândirii mele începând din momentul când, rel uând ideile mele iniţiale asupra adevăratei semnificaţii fizice a mecanicii ondulatorii, am căutat să-i dau o reinterpretare ale cărei puncte esenţiale sunt, după mine, că ea restabileşte imaginea clară a particulei ca un obiect foarte mic, p erm a ne n t localizat în spaţiu în cursul timpului şi că ea redă undei caracterul unui câmp având existenţă obirctivă, care se propagă în spaţiu în cursul t im p u lui. Am ajuns astfel, în cadrul teoriei dublei soluţii, să reiau „formula ghidării[28], care atribuie par t cu le i o în i şi e are bin e de ter în inată, analogă aceleia pe care hidrodinamica el a sică o atribuie moleculei unui fluid, moleculă a cărei în işc are să o perează în fiecare clipă urmând una din liniile de curent ale curgerii hidrodinamice.

Obţin cam astfel o im a şi ne clară, dar, am recunoscut-o apoi, fără îndoială prea rigidă. Mi-am dat seama atunci de necesitatea de a suprapune mişcării

---

281 Asupra definiţiei energiei libere în termodinamica ascunsă a particulelor, a se vedea Louis de Broglie,
R. Acad. Sc., vol. 257, 1963, p. 1 430.

uniforme medii a particulei definite de formula ghidării un fel de a gita ţi-e t ermică al e a t ori e, deallfel aşa cum se suprapune în mişcarea reală a moleculei unui fluid mişcării uniforme definite de liniile de a

curent o agitaţie termică aleatorie. În ce priveşte în ole cu l au nu i fi uid, ace a’s tă a şi ta ţi-e termică este

O *

da Lorată ciocnirilor sale cu celelal te molecule ale fluidului, dar pentru o particulă izolată la scara în i or o fizică o asemenea a şi t a ţi-e nu p o a te fi deloc atribuită decât contactului ei energetic cu un fel

Je Leriuoslal. ascuns care e firesc să fie identificat cu mediul subcuanlic al lui Bolim şi Vigier.

De altfel, dacă reflectăm mai bine, pare foarte natural ca interpre tarea probabilistă actuală a mecanicii ondulatorii, denumită adeseori mecanică cuantică, să conducă în cele din urmă la introducerea unor noliuni termodinamice noi, deoarece ea

9 7

Introduce probabilităţile în comportamentul unei particule microfizice, chiar în aparenţă izolată, şi ca legătura strânsă ce există între termodinamica statistică şi apariţia probabilităţilor în teoriile fizice să sugereze aproape în mod necesar existent a unei termodinamici ascunse în spatele acestui comportament. Einstein a simţit aceasta de muli a vreme şi credea că intervenţia probabilităţilor în mecanica ondulatorie trebuia să ducă la atribuirea unui fel de mişcare browniană particulelor microfizice. Or, cine spune mişcare bro\uniană spune şi fluctuatii şi termodinamică.

BIBLIOGRAFIE Louis de Broglie:

Une tentative d’interpretation cauzale et non lineaire de la Mécanique ondulatoire: la theorie de la doubl-e solution, Gauthier-Villars, Paris, 1956.

La theorie de la Mesure en Mécanique ondulatoire, Gaulhier-Villars, Paris, 195 7.

L’interpretation de la Mécanique ondulatoire (J. Phys. Rad., vol. 20, 1959, p. 963).

Étude critiq. ne des bases de Vinterpretation actuelle de la Mécanique ondulatoire, Gauthicr-Viiiars, Paris, 1963.

La Thermodynamique de la particule isolee (C. R. Ac.ad. Se., vol. 253, 1961, p. 1 078; voi. 255, 1962, p. 807 şi 1 05: 2).

La Thermodynamique de la particule isolee (Thermodyna mique cachee des particules), Gauthier-Villars, Paris,] 964.

Bohm şi J.-P. Vigier, Model of the causal interpretation of quanliim theory în terms of a fluid with irregular fluctuations (Phys. Rev., vol. 96, 1954, p. 208).

Fer, J. Andrade e Silva, Pb. Leruste şi G. Lochak.

C. R. Acad. Se., vol. 251, 1960, p. 2305, 2482 şi 2662; Cahicrs de Physique, nr. 129, 1961, p. 210; nr. 137, 1962, p. 1

J. Andrade e Silva şi G. Lochak, C.R. Acad. Se., vol. 254, 1962, p. 4260.

Lochak. C.R. Acad. Se., vol. 254, 1962, p. 4436; voi... 256, 1963, p. 3601.

COMPTES RENDUS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES Grupa 4

(Paris, vol. 257, p. 1822 – 182 1:, 16 septembrie 1963)

Mecanica ondulatorie.

— Despre teoria focarelor cinetice în termodinamica particulei izolate. Nota domnului Louis de Broglie

Reamintind modul în care a legat principiul minimei acţiuni al lui Hamilton de maximul entropiei în a sa termodinamică a particulei izolate, autorul arată cum se prezintă în acest cadru de idei chestiunea focarelor cinetice.

Vom reaminti mai întâi relaţia pe care am stabilit-o într-o Notă anterioară1 între principiul minimei acţiuni al lui Hamilton şi al doileaprint i cipiu al termodinamicii.

Vom începe prin a reaminti o definiţie. Dacă A este o cantitate care depinde de masa proprie variabilă M0 a unei particule şi de alte variabile, desemnăm cu & m0 A variat ia suferită de A când Mo variază, celelalte variabile

rămânând fixe, şi cu [8A] m0 variaţia suferită de A când celelalte variabile variază, M o rămânând fix.

Să considerăm mişcarea „naturală" a unei particule care o aduce dintr-un punct A la momentul t0, într-un punct B la momentul t1 şi să examinăm variaţia Hamiltoniană uzuală carement ine fixe punctele A şi B, precum şi momentele i-o şi tv Cu

Comptes Readus, vol. 255, 1962, p. 1 052.

153

(1) $$-\int_{t_0}^{t_1} \delta_{M_0} \mathcal{L}\, dt = \int_{t_0}^{t_1} [\delta^2 \mathcal{L}]_{M_0} dt,$$

din care, luând valorile medii în intervalul de timp ti – t0 pî adoptând definiţia noastră despre entropia S a termostatului ascuns, aflăm deoarece acţiunea Hamiltoniană este minimă pentru mişcarea naturală. Am legat astfel faptul că integrala de acţiune hamil toniană 1. zi este minimă pentru mişcarea naturală la un inaxim al entrop ici medii pentru această mişcare.

În termeni metaforici, acest rezultat poate fi exprimat spunând că mişcarea naturală se efectuează urmând linia de talveg a unei văi de negentropie. Vedem atunci că orice traiectorie variată trebuie să se caţere deasupra fundului văii, ceea ce w w da o imagine intuitivă interesantă a creşterii negentropiei medii, deci a diminuării cntrop ici medii, atunci când se trece de la mişcarea naturală

y la una oarecare dintre mişcările variate.

Se ştie însă că acţiunea nu este totdeauna minimă» pentru orice poziţie dată a punctelor A şi B pe traiectoria naturală. Analiza acestei chestiuni conduce la introducerea noţiunii de „focar cine de". Problema este în general studiată în cazul principiului lui Maupertuis, dar ea se transpune uşor în cazul acţiunii hamil toniene.

Să presupunem că există două mişcări naturale şi 2, foarte apropiate, care aduc particula dintr-un punctă la momentul to într-un punct C la momentul t2. Să notăm cu 8 şi §21 variaţiile ce corespund trecerii de la mişcarea 1 la mişcarea 2 şi invers:

9 9

avem, cvidmt, 821 = – 8 r2. Să aplicăm principiul

] ni Hamillon la miser. trile 1 rsi 2 considerând pe fiecare din ele ca fiind o mişcare variată în raport cu cealaltă. Trebuie să avem dl O, [8221 EU, dt>O

J ” ”) t, ceea ce nu e posibil decât dacă

J [8J₂W. dt = O.

Traiectoria 2 este deci caracterizată prin faptul că a doua varia Lie a acţiunii Hamiltoniene, când se crede la J la 2 (sau invers), este nulă. Dar atunci relaţia (1) ne dă

Entropia medie rămâne deci aceeaşi atunci când sc. 1 rece de la mişcarea 1 la mişcarea 2 sau invers.

Ace asta fiind adinis, este bine cunoscut că, dacă şi efectuează variaţia Hamiltoniană între un punct A şi un punct B situat între A şi C (2 t1 /O), acţiunea este minimă pentru intervalul de timp Dacă însă, dimpotrivă, punctul B este situat pe traiectoria 1 dincolo de punctul C

V w 1

ti 2 to), nu mai există un minim al acţiunii pentru intervalul de timp 1 – Să interpretăm aceasta din punctul nostru de vedere termodinamic. Cele două traiectorii 1 s i 2 urmează liniile de talveg a doua văi de negentropic f o ar te apropiate, de aceeaşi adâncime medie (fiindcă S12S = O), care sunt separate una de cealaltă printr-o colină de negentropie, dar care se întâlnesc în C. J) acă B se află pe traiectoria 1 între A şi C, orice traiectorie variată va trebui să se caţere pe flancul colinelor de negentropie care mărginesc traiectoria 1: vom avea deci 8S < O sau >O, adică pentru A 1 B va exista un minim al acţiunii Hamiltoniene. Dacă, dimpotrivă, punctul B se află pe traiectoria 1 dincolo de punctul C, se va putea lua A 2 C 1 B ca traiectorie variată şi cum această traiectorie variată rămâne pe fundul unei văi de negentropie de acelaşi nivel mediu ca şi valea A 1 C 1 B, avem pentru această variaţie 8S = O sau

[$212 Wo = O şi acţiunea Hamiltoniană nu este minimă pentru orice variaţie posibilă.

Reiese astfel că aspectul termodinamic pe care l-am

introdus în studiul principiului minimei acţiuni al lui Hamilton este susceptibil să furnizeze o interpretare intuitivă simplă a rolului jucat de focarele cinetice.

Note şi discursuri

NOTĂ DESPRE VIAŢA ŞI OPERA LUI GEORGES DARMOIS

Ci Lită în şedinţa anuală a Academiei de Ştiinţe din V decembrie 1 9 Gl

Doinni lor.

Se întâmplă, destul de frecvent din nefericire, ca unii membri ai confreriei noastre să facă parte din ea doar puţini ani. A trecut timpul când se intra în academii la tinereţe, aşa cum a intrat f 9

odinioară într-a noastră d'Alembert, la vârsta de 24 de ani, şi, cu toată prelungirea duratei medii de viaţă, prea numeroşi sunt aceia dintre confraţii noştri pe care îi păstrăm printre noi doar câţiva ani. Aşa a fost recent cazul lui Georges Darmois care, ales membru al Academiei de Ştiinţe în noiembrie 1955, pe când părea încă în plină vigoare intelectuală şi fizică, ne-a fost răpit prematur în primele zile ale anului 1960. Importanta contribuţiilor pe care le-a adus unor ramuri foarte variate ale ştiinţelor matematice şi fizice, amploarea vastei sale culturi, ponderaţia judecăţii sale, extrema delicate te-a caracterului său au făcut ca pierderea sa să ne fie tuturor a deosebit de dureroasă. Este deci cu totul firesc să consacrăm astăzi câteva momente pentru a evoca amintirea unei atât de eminente şi simpatice figuri de savant.

Georges Darmois s-a nfiscut la 24 iunie 1888 la Eply, un mic sat din departamentul Meurtheel-Moselle, situat la juin a t a te-a drumului dintre ancy şi P o n t – a – Mo usson. A par ţinea unei foarte vechi familii lorene de cultivatori şi de mici niesteşugari: încă din secolul al XVI-lea existau la Eply cultivatori din familia Darmois.

orges Darmois avea un frate şi o soră. Fratele său Eugene, cu patru ani mai mare, avea să facă şi el o frumoasă carieră ştiinţifică şi, ca fizician cu renume, să

devină profesor la Sorbona, apoi membru al Academiei noastre. A făcut parte din ea, secţia de fizică, timp de şapte ani, din 1951 până în 1958, şi a murit numai cu doi ani înaintea fratelui său, cu care de trei ani se întâlnise în rândurile confreriei noastre. Amândoi fraţii se aflau deci, unul

alături de celălalt, printre noi: se ştie că această împrejurare nu s-a produs decât de puţine ori în decursul celor trei secole de existentă a Academiei noastre. Eugene şi Georges Darmois aveau o soră care şi ea, printr-un efort personal, îşi însuşise o vastă cultură. Foarte ataşată de fraţii săi, a locuit t t /

la Paris cu fratele ei Georges, încă celibatar şi pe atunci preparator agregat la Şcoala normală, în decursul anilor care au precedat războiul din

S-a căsătorit apoi cu un ofiţer, prieten al fraţilor săi. A fost ucisă în 1942 la Rouen, în cursul unui bombardament.

Copiii Darmois au fost crescuţi la Eply de părinţii şi bunicul lor. Georges Darmois păstrase o vie amintire a anilor săi de copilărie când muncea acasă şi lua parte la culesul viei. Inteligenţi şi curajoşi, părinţii lui Georges Darmois, văzând că cei doi fii ai lor sunt dornici să se instruiască, au acceptat mari sacrificii spre a le permite să-şi continue studiile la colegiul din Toul, apoi la liceul din Nancy. Au avut bucuria de a-i vedea reuşind în eforturile lor şi intrând succesiv amândoi la Şcoala normală superioară. De altfel, ei n-au putut asista decât la debutul strălucitelor lor cariere universitare, căci tatăl a murit în 1913, iar soţia sa cu doi ani mai târziu.

Evenimentele şi împrejurările vieţii sale aveau să-l îndepărteze pe Georges Darmois de satul natal, care de altfel a fost greu încercat în două r. Înduri. Complet distrus în timpul războiului din 1914, el nu s-a ridicat din ruine decât pentru a fi din nou greu lovit în 1939. Georges Darrnois a păstrat întotdeauna cultul colţişorului de păimnt loren unde şi-a petrecut „tinereţea fericită”,

precum el însuşi a spus în discursul pe care l-a pronunţat a 1 1 1?

cu ocazia primirii însemnelor de academician. li r am lses e ră acolo numeroase rude, printre care un unchi şi o vară, fiică a acestui unchi, care au exercitat succesiv, timp de ani îndelungaţi, funcţia de primar în Eply.

*

*

Dacă aruncăm o privire asupra întregii opere ştiinţifice a lui Georges Darmois, observăm că ea se împarte în trei perioade succe sive: în p r i ni a perioadă a studiat probleme de geomet iie şi de analiză; în a doua s-a preocupat în prin neip al de fizica mat ematică; în sfârşit, în a treia perioadă, s-a consacrat aproape exclusiv calculului probabilităţilor şi în special aplicaţiilor acestuia la statistică, în diferite domenii. Această diviziune a operei confratelui nostru se leagă strâns de circumstanţele vieţii sale şi de e tapele carierei sale. Aşa în cât mai întâi trebuie să-l urmărim în cursul unei existent e căreia marile evenimente ale secolului nostru i-au dat uneori o turnură neprevăzută.

Intrat în Şcoala nodală superioară în 1906, la vârsta de 18 ani, Georges Darmois iese de aici agregat în matematici în 1909, apoi îşi satisface serviciul militar normal la Toul din 1909 până în 1911. Revine apoi la Şcoala normală ca preparator agregat din 1911 până în 1914. Atunci începe primele sale lucrări personale şi, în mod cu totul firesc, sub influenţa unui profesor ca Gaston Darboux, le orientează spre geometrie şi atacă probleme dificile despre care vom vorbi îndată: le rezolvă cu o mare îndemânare şi astfel ajunge să se ocup e de teoria ecuaţiilor cu derivate părţi ale, ceea ce îl va antrena mai târziu spre fizica matematică.

Darmois era absorbit de pregătirea tezei sale de doctorat, când a izbucnit războiul din 1914.

Acest mare eveuimcut, care a zdruncinat viaţa atâtor oameni din generaţia: a, chiar a lu’ uci când i-au supravieţuit, avea să-i impună pre ocupări cu totul noi şi să

schimbe orientarea cerce ţărilor sale.

Mobilizat la Toul, e nevoit ca, începând de la sfârşitul anului 1914, să se ocupe de probleme de balisticii, având ca obiect apărarea oraşului Toul împotriva atacurilor avioanelor inamice care zburau la joasă altitudine: trebuia reglat tirul mitralierelor Lrăgând aproape vertical asupra acestor avioane. Nevoit astfel să se preocupe de probleme foarte concrete, Georges Darmois se adaptează cu uşurinţă la ele şi în aprilie 1916 este detaşat

9 9 9 1 t într-o secţie de reperare prin sunet, secţie al cărei şef era fostul său coleg la Şcoala normală, confratele nostru Gustave llibaud. Această secţie de reperare utiliza metodele elaborate de regretaţii noştri confraţi Aimé Cotton şi Pierre Weiss şi a

9 9, lucrat succesiv în Alsacia, Champagne şi din nou în Alsacia. În această secţie Darmois continuă să fie confruntat cu importante probleme de balistică: propagarea undelor, calitatea măsurătorilor, rapiditatea de exploatare: studiază în mod specual propagarea sunetului în aer agitat, frumoasă problemă de miraj sonor, din care scoate importante instrucţiuni pentru secţiile de reperare. Dar în calea sa mai întâlneşte şi o interesantă problemă de fizică ce îl orientează pentru prima oară spre studiile de fizică matematică. În sistemul de reperare Cotton-\Veis. s, măsurarea timpului se făcea cu ai 11 torul unui fluxnie lru Grasso t. Pen Lru a permite o e talonare raţională a acestui aparat, era necesar un studiu aprofundat al funcţionării lui. În colaborare cu Ribaud, Georges Darmois a executat acest studiu care a atras atenţia lui Ainie Cotlon şi a fost publicai mai târziu în Annales de Physique.

Toţi aceşti ani, consacraţi unor probleme foarte concrete în condiţii dificile şi prelungite după arniistiţiu prin studii experimentale efectuate pe câin purile de tir, au exercitat o influenţă profundă asupra spiritului lui Georges Darmois. Ele l-an orientat spre fizica materna Lică şi, mai târziu, spre statistică, oblig îndu – 1 să rămână mereu în contact cu realitatea. l) e atunci, el nu pregeta să repete elevilor săi că trebuie să rămânem „cu picioarele pe OJ

„pământ.

Demobilizat în iulie 1919, Darmois este de Lasa t p la Facultatea de Ştiinţe din Nancy, dar, cum nu este încă doctor, este numit doar lector la cursul de analiză superioară. Îşi reia lucrările de geometrie întrerupte un timp atât de îndelungat, finisează cza sa de doc Loral şi o susţine în 1921.1 se acordă imediat titlul de profesor tilular de analiză superioară la fac uhalea din Nancy, post pe care îl va păstra până în 1933, predând totodată analiza la Şcoala de mine din acelaşi oraş.

”.

Iată-l deci pe Georges Darmois, de curând căsătorit, instalat la Nancy şi puternic orientat către apl i câţi i le matematicilor; îşi îndreaptă de pe atunci curs urile pe care le ţine spre fizica în atematică şi spre calculul prob abilităţilor şi aplicaţi de lui, predând în acelaşi timp un curs de geometrie diferenţială pentru candidaţii la gradul de agregat. Atenţia sa se concentrează din ce în ce mai mult asupra fizicii matematice; în mediul ştiinţific foarte activ din Nancy, găseşte o atmosferă favorabilă dezvoltării acestei a doua faze a activităţii sale de cercetări personale. Are, îndeosebi, numeroase şi fructuoase schimburi de vederi cu colegul şi prietenul său, Franc; ois Croze, cu privire la teoria relativităţii şi la principiul lui l-luygens şi publică, împreună cu el, o lucrare asupra acestui din urmă subiect. Se preocupă în mod special de teoria re lativită ţii generale, urmează cursurile şi seminariile lui Paul Langevin la Collège de France şi aplică la s-oluţionarea dificilelor probleme matematice pe care această teorie le pune cunoştinţele sale aprofundate de analiză, rutina căpătată în manipularea ecuaţiilor cu derivate parţiale şi resursele unui spirit deosebit de pătrunzător. Aceasta este perioada în care a îndeplinit, în câţiva ani, a doua parte a operei sale, cea care este, fără îndoială, cea mai profundă şi mai importantă din punct de vedere pur ştiinţific.

Dar chiar în cursul acestei perioade foarte fecunde din activitatea sa, care coincide cu şederea i lui la N ancy, din 1921 până în 1933, se schiţează o nouă orientare a

preocupărilor sale, care anunţă cea de-a treia parte a operei sale. Începând din 1923, Darmois introdusese în cursul său, la Nancy, elementele calculului probabilităţilor şi ale aplicaţiilor lui statistice. Or, cam în aceeaşi epocă, se organizase la Paris Institutul de Statistică în care Emile Borel, care fusese unul dintre fondatorii şi animatorii acestuia, preluase cursul de statistică generală. Emile Borel însă, absorbit foarte curând de ocupaţii de ordin politic, fusese nevoit să renunţe la a mai asigura el însuşi ţinerea acestui curs. În 1925, Georges Darmois îi succede, venind în fiecare săptăde la Nancy la… Paris spre a preda cursul la Institutul de Statistică. În 1928 – 1929, la cererea Institutului Henri Poincaré, el acceptă să ţină acolo un curs compus din 16 lecţii despre statistica şi dinamica stelară. Astfel, puţin câte puţin, fără a abandona complet cercetările sale de fizică matematică, el se preocupă din ce în ce mai mult de dezvoltarea metodelor statistice şi de aplicaţiile lor în domenii foarte diverse.

Această nouă schimbare de orientare se accentuează şi mai mult în 1933, atunci când este numit i”.

lector la Facultatea de Ştiinţe din Paris unde, la început, îi suplineşte pe Paul Painleve şi Ernest Vessiot. Numit definitiv la Sorbona, el devine profesor fără catedră în 1936 şi, câţiva ani mai târziu, profesor titular. De atunci, Darmois se consacră aproape exclusiv predării metodelor statistice şi difuzării lor în cercuri din ce în ce mai largi. Cu grija permanentă de a continua problemele de fizică matematică care îl interesau, stimulând cercetările efectuate în acest domeniu de elevii săi, el nu le mai rezervă decât în mod excepţional câteva lucrări personale.

Se părea că îşi găsise astfel în învăţământ şi în cercetare calea pe care era menit s-o urmeze de-a lungul întregii sale cariere universitare. Dar secolul nostru, fecund în peripeţii dramatice, îi rezerva din nou tribulaţii neprevăzute. Izbucneşte războiul din 1939: ofiţ ei de rezervă, Ce orges Darmois este mobilizat în serviciul de reperare prin sunet. Avea să rămână mobilizat timp de patru ani: remarca mai târziu că, întrucât făcuse doi ani de

serviciu militar normal şi fusese mobilizat 5 ani în timpul războiului din 1914, petrecuse în total unsprezece ani în uniformă militară. Trimis de Ministerul Armamentului în Anglia ca membru al unei misiuni ştiinţifice franco-britanice, el nu se poate înapoia în Franţa din cauza tragicelor evenimente din iunie 1940 şi trebuie să rămână la Londra. În februarie 1943, tot mobilizat, se află la Alger, afectat unui laborator de cercetări militare. Demobilizat în iunie 1943, tot la Alger, este însărcinat cu organizarea examenelor în toate marile şcoli din Algeria. A îndeplinit cu devotament aceste funcţii, care i-au plăcut mult, dar acesta era un e p is od destul de neaşteptat în cariera sa universitară.

Reîntors în Franţa la sfârşitul lui octombrie

”.

1944, el reia la Paris activităţile ştiinţifice şi uni

1 w w A w versitare pe care le părăsise cu cinci ani în urmă.

T\ * A – fw w *

De aici înainte cariera sa va continua fără noi incidente. În 1949, la pensionarea confratelui nostru Maurice Frechet, îi va urma la catedra de fizică matematică şi de calculul probabilităţilor, post pe w 1 w. A w 1 * 1 w ea! e a vrea să-l păstreze până la pensionarea sa, adică aproape până la moar te a sa.

Rezervându-ne să revenim mai departe asupra sfârşitului carierei lui Georges Darmois, vrem acum să analizăm pe scurt ansamblul operei sale ştiinţ ince.

*

*

Opera ştiinţifică a lui Georges Darmois se împarte, aşa cum am văzut, în trei părţi, destul de net separate în timp: geometrie şi analiză, fizică matematică, calculul probabilităţilor şi statistică.

Chiar pe când era elev al Şcolii normale Darmois făcuse un interesant studiu asupra transformărilor punctuale, astfel încât normalele la punctele corespunzând la două suprafeţe să fie concurente şi, încă în 1910, J ales

Tannery prezentase Academiei noastre o notă asupra acestui subiect, redactală de acest tânăr care nu avea decât 22 de ani. O înclinaţie pronunţată îl îndrepta atunci spre geometrie şi era puternic influenţat de acel mare geomeru analist care a fost Gaston Darboux. Revenit la Şcoala normală în 1911 după satisfacerea serviciului militar, îşi propune studierea ecuaţiilor cu derivate parţiale, generate de problemele de geometrie. Se ocupă în mod cu totul special de curbele cu torsiune constantă, problemă care se reduce la o ecuaţie a lui Monge; domină acest subiect dificil foarte repede şi publică rezultate foarte interesante obţinute cu metode foarte elegante. La începutul lui 1914 întreprinde redactarea ansamblului cercetărilor sale asupra curbelor cu torsiune constantă şi speră să-i poată susţine curând teza de doctorat. Războiul din 1914 l-a antrenat spre alte studii şi l-a orientat către probleme mai concrete. Abia în 1920, stabilit la Nancy, a putut să termine redactarea definitivă a tezei sale şi să vină să o susţină la Facultatea de Ştiinţe din Paris la 26 februarie 1921.

Dar, aşa cum am spus, atenţia sa se îndrepta atunci din ce în ce mai mult spre probleme de fizică matematică şi din acel moment nu va mai reveni la’s Ludiile de geometrie şi de analiză pe care le desfăşiirase cu strălucire în timpul primei sale tineret i. Se cuvine totuşi să remarcăm că aceste prime studii îi dăduseră o cunoaştere foarte amănunţită a proprietăţilor ecuaţiilor cu derivate parţiale şi o mare îndemânare în manipularea lor, pregătindu-l astfel la desăvârşirea importantei opere pe care a cea s-o realizeze în domeniul fizicii mateinalice.

Prima sa lucrare în acest domeniu nou pentru el fusese studiul teoretic aprofundal., pe care l-a întreprins în timpul războiului din 1914. Împreună cu prielenul său Gustave Ribaud, al funi*! ionării fluxmetrului Grassol, aparat care avea un rol important în executarea măsurătorilor de reperare prin sunet în metoda COLLon-\ Veiss. A reieşit că teoria elementară a acestui fluxmetru nu era suficientă şi că Lrebuia să se tină seama de frecările

introduse de pivoţi şi de prezenţa aerului amhiant, precum şi de cupluri datorate greutăţii şi lorsiunii firelor de pătrundere a curentului. Studiul aprofundat efectuat de Ribaud şi Darmois a adus mari servicii în perfecţionarea măsurătorilor de reperare prin sunet. El n-a putut fi publicat decât desint de târziu după sfârşitul războiului, în 1921, în Annales de Physique.

Căpătând astfel exerciţiu pentru lucrările de fizică teorelică, Georges Darmois va aborda, începând din 1921, sub influenţa prietenului său Croze şi adeseori în colaborare cu el, studiul a două

9 /

pâmbleme capitale: o critică riguroasă a enunţurilor principiului lui I-luygens şi un examen aprofnndal al baze lor şi al verificărilor teoriei relativităţii generale.

Să începem cu problema principiului lui Huygens. Croze şi Darmois reflec taseră mult împreună asupra dificultăţilor pe care le ridică o enunţare riguroasă a acestui principiu, prezentat adeseori într-un mod puţin clar sau incorect şi al cărui enunţ obişnuit nu se poate aplica exact propagării undelor transversale. Ei observaseră că numeroşi autori comiseseră în această chestiune confuzii care (luceau la consecinţe paradoxale, dar ajunseseră la concluzia că principiul lui Huygens era în întregime justificat şi se putea exprima exact introducând surse univoc determinate. În 1927 au publicat împreună un important articol referi tor la acest subiect. Au continuat apoi studiul enormei cantităţi de lucrări publicate cu privire la această problemă, dar abia în 1949, într-o notă publicată în Comptes Renrlus, sub dubla semnătură a lui François Croze şi a lui Georges Darmois, au formulat un fel de concluzie definitivă la reflecţiile lor.

În acea vreme, chestiunea aplicării principiului lui Huygens la undele transversale şi în special la undele electromagnetice căpătase o importanţă practică considerabilă în urma dezvoltării folosirii l]. iperfrecvenţelor în transmisiunile radioelectrice. Într-adevăr, numai principiul lui Huygens corect aplicat

permite să se prevadă structura unei unde hertziene de foarte înaltă frecvenţă care, după ce s-a deplasat într-un ghid de unde, scapă din pâlnia aşezată la extremitatea lui. Unii fizicieni preocupaţi de problema hiperfrecvenţelor – printre care şi au torul acestei note – au ajuns să examineze diverse formule care exprimau principiul lui Huygens. Făcând sinteza acestor noi lucrări şi a propriilor lor cercetări anterioare, Croze şi Darmois precizează, în nota lor din 1949, condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească orice expresie exactă a principiului lui Huygens, ceea ce le permite să înlăture ca inadecvate o întreagă serie de formule propuse şi să arate că toate formulele corecte sunt echivalente. Acest rezultat a fost o strălucită încununare a unei serii lungi de eforturi într-un domeniu dificil.

Cu toată înalta valoare a cercetărilor lui Darmois asupra principiului lui Huygens, opera sa esenţială în domeniul fizicii matematice o constituie remarcabilele sale lucrări referitoare la teoria relativităţii generale. În anii care au urmat după sfârşitul războiului din 1914, teoria relativităţii, 9 9 în special sub forma ei generală pe care i-a dat-o Einstein, atrăgea atenţia tuturor tinerilor cercetători, iar Paul Langevin devenise, în Franţa, în admirabilele sale expuneri, un apostol fervent al ei. Structura matematică a acestei teorii rămânea însă insuficient precizată. Georges Darmois, care, prin lucrările sale anterioare, dobândise o cunoaştere aprofundată a proprietăţilor ecuaţiilor cu derivate parţiale, îşi propune să examineze într-un mod mai riguros decât se făcuse până atunci ecuaţiile ce stau la baza teoriei lui Einstein şi consecinţele

Î

ntrucât reflectase mult asupra propagării undelor, propagare al cărei aspect matematic fusese bine definit în opera magistrală a confratelui nostru Jacques Hadamard, el sesizează clar importanţa propagării undelor în teoria relativităţii generale, importanţă deja semnalată de Ernest Vessiot. Reluând în mod sistematic introducerea în relativitatea generală a concepţiilor lui Hadatnard şi

Vessio t, el defineşte în multiplicitatea cvadridiniensională spaţiu-timp suprafeţele caracteristice pe care undele de potenţial gravific pot prezenta discontinuităţi şi curbele bicaracteristice care sunt geodezice de lungime nulă. El a putut demonstra existenţa unor soluţii ale ceuaţiilor lui Einstein atunci când se formulează ipoteza că aceste soluţii sunt analitice. Dar el însuşi a semnalat că această ipoteză este fără îndoială prea restrictivă şi puţin conformă caracterului însuşi al relativităţii generale.

După ce precizase bine toate aceste puncte şi dăduse astfel teoriei lui Einstein o bază matematică solidă, a studiat modul în care puteau fi utilizate diferite feluri de coordonate particulare care permit obt inerea unor forme simple şi us or maniabile ale ecuaţiilor de unde pe care le satisfac potenţialele lui Einstein. Astfel el a ajuns să studieze semnificaţia coordonatelor zise „izoterme" şi să dea cel dintâi o justificare riguroasă autilizării lor. Încă din 1921, De Donder introdusese coordonatele izoterme şi arătase că ele, în cazul cvasigalileian, se confundă cu acelea pe care le introdusese Einstein; ele au fost apoi utilizate cu succes de Lanezos, dar mai rămâneau unele îndoieli cu privire la legitimitatea folosirii lor. Darmois defineşte coordonatele izoterme plecând de la însăşi ecuaţia de propagare a undelor în spaţiul-timp curb şi arată că tocmai prin faptul că sunt legate de ecuaţia de propagare, ele simplifică studierea acesteia. Coordonatele izoterme, de când Georges Darmois le-a precizat foarte clar sensul, sunt întrebuinţate fără ezitare de către toţi specialiştii relativităţii generale şi a extinderilor ei. Regretatul nostru confrate Jean Chazy a făcut cu coordonatele izoterme aplicaţii întinse în volumul 11 al cărţii sale La Theorie de la Relativite et la Me caniqne ce leste şi lot astfel, făcând uz de ele, a putut d-na Bruhat să demonstreze teorema generală a existent ei şi a unicităt îi soluţiilor ecuaţiilor lui Einstein. Ele an permis de asemenea d-nei Hennequin să studieze prin aproximaţii succesive problema a n mase gravitanle.

O altă chestiune capitală care se pune în teoria

relativităţii, şi în legătură cu care Darmois a introi / O
d a w * *
us importante idei noi, este aceea a mişcării particulelor într-un câmp gravitaţional. Se ştie că această mişcare trebuie să se efectueze în aşa fel j încât linia de univers a particulei să fie o geodezică n câmpului exterior. Confratele nostru, care studiase cu multă precizie modul în care se face racordarea câmpului interior al tubului de univers al particulei cu câmpul exterior, observase că continuitatea necesară unui anumit „vector de racordare" cere ea pereţii tubului de univers să fie formaţi de geodezice ale câmpului exterior. Astfel, celebrul „postulat al geodezicelor" încetează de a fi un postulat: el devine o consecinţă a ecuaţiilor câmpului şi a unor anumite condiţii necesare de conr» a i ţinuitate. În 1926, Georges Darmois a făcut la Universitatea liberă din Bruxelles o foarte frumoasă expunere asupra ansamblului cercetărilor sale personale în domeniul relativităţii generale; ulterior şi-a redactat expunerea, care a apărut în 1927 în colecţia Memorialului ştiinţelor matematice sub titlul Les Equations de la gravitation einsleinienne. În acest foarte interesant fascicul, în care sunt prezentate sub o fornia condensată importantele idei noi pe care le dezvoltase de câţiva ani, el a evidenţiat foarte bine importanţa interpretării sale asupra mişcării particulelor. „Concepţia pe care Einstein o propune a fi substituită aceleia a lui Newton, scrie el, în loc de a lega masele între ele prin forţe, le leagă prin comunitatea câmpului în care sunt integrate ambele. Tuburile de univers care descriu mişcarea maselor materiale se scaldă dacă se poate spune aşa – în acelaşi câmp şi acest câmp este cel care creează interdependenţa lor"; mai departe el adaugă: „În fond, pentru a angrena propriul său câmp pe câmpul exterior, o masă mică trebuie să descrie o geodezică".

Totodată Darinois a făcut profunde observaţii, precizate după aceea de André Lichnerowicz, asupra modului în care se poate căuta să se prelungească câmpul exterior spre interiorul tubului de univers pentru a obţine

masa particulei care produce câmpul. El a pus în evidenţă faptul că acest câmp exterior prelungit trebuie să conţină o singularitate şi adăuga cu multă profunzime: „Acest rol fundamental al singularităţilor, care prefigurează într-un fel tuburile masice, este de o extremă impurtanţă”.

Bineînţeles, Einstein însuşi ajunsese la concepţii analoge celor ale lui Georges Darmois. În 1927, ilustrul savant publica împreună cu colaboratorul său Grommer un scurt şi important memoriu în care arăta că legea mişcării materiei era legată în niodul cel mai strâns de singularităţile câmpului exterior. De altfel Einstein şi colaboratorii săi au revenit ulterior de mai multe ori asupra acestui subiect, dar se pare că Georges Darmois a avut într-adevăr, cel puţin în ce priveşte publicarea unor asemenea idei, o prioritate incontestabilă. De zece ani încoace, s-au făcut încercări de reinterpretare a mecanicii ondulatorii, încercări în care se regăsesc, convenabil transpuse, idei analoge celor ale lui Darmois şi Einstein asupra legăturii dintre mişcarea corpusculilor şi câmpurile înconjurătoare. Georges Darmois s-a interesat de aceste încercări şi ştim că, cu puţine săptămâni înaintea morţii sale, îşi mai propunea să reflecteze din nou la ele.

tacheind studiul lucrărilor lui Darmois asupra relativităţii, vom mai semnala că el s-a preocupat şi de teorii care, ca şi aceea a lui Einstein şi a lui de Sitter, caută să precizeze forina globală a i «spaţiului-timp, precum şi de teoria expansiunii universului a lui Lemaître. Cu privire la aceste chestiuni, el a publicat în 1932 în Comptes /fondu. s două note care au fost, pare-se, ultimele din perioada „reialivistă” a operei sale’s Liin ţifice. u trebuie să uităm însă a menţiona şi interesul pe care Georges Darmois, spirit concret, preocupat necontenit să ţină seamă de realităţile fizice, l-a arătat întotdeauna verificărilor experimentale ale relativităţii generale. El discutase adeseori acest lucru cu prietenul său Croze, care reflectase mult asupra valorii acestor verificări, şi participase la şedinţele Societăţii de Fizică din Strasbourg... unde fuse

9 * Ş o seră discutate. În 1930, în cursul săptămânii organizate de Centrul de sinteză sub auspiciile lui Paul Langevvin şi consacrate teoriei relativităţii, a ţinut o conferinţă cu privire la verificările experimentale ale acestei teorii, expunere strălucită, care a fost apoi publicată în colecţia Actualităţilor ştiinţifice şi industriale a editurii Hermann.

*

*

L-am văzut pe Georges Darmois, devenit în 1925 lector la Institutul de Statistică din Paris, o: – ientându-se treptat spre calculul probabilităţilor şi aplicaţiile lui. Încă din 1928, la Congresul internaţional al matematicienilor de la Bologna, el prezintă o notă asupra seriilor statistice care se desfăşoară în timp şi, în acelaşi an, p u b li că la editura Doin în Enryclopedis strien/i/Vque des.i. /tihlmatiqut's appliqudu o expunere generală asupra statisticii matematice, expunere pe care mai târziu el însuşi o aprecia ca oarecum insuficientă. Dar în epoca aceea spiritul său era încă puternic îndreptat spre aplicaţiile la ştiinţele fizice şi de aceea s-a simţit fericit atunci când a fost invitat de Institutul Henri Poincaré în 1929 să ţină 16 lecţii despre statistica şi dinamica stelară; pentru a se familiariza cu aceste probleme, n-a ezitat să-şi petreacă o parte din vacanţă la Observatorul din Strasbourg, alături de prietenul său Dnnjon, făcând apoi (l'expunere foarte importantă a rezultatelor obţinutr în acea epocă în lumea întreagă asupra unor probleme cum sunt curenţii de stele, structura şi dinarnirr galaxiei. Această expunere a fost publicată în 193 t. de editura Hetmaiin în colecţia Actualităţilor şti – intifice şi industriale sub titlul La Structure et les mouvements de lunivers stellaire. Această lucrare importantă, asociată cu profundele sale studii asupra teoriei einsteiniene a gravitaţiei, a contribuit mai târziu la justificarea intrării regretatului nostru confrate în secţia de astronomie a Academiei noas Lre.

În acelaşi timp Darmois se simţea din ce în ce mai mult atras de alte aplicaţii ale statisticii şi anume acelea

care se referă la domeniile economice, demografice, sociale sau chiar psihologice. Sunt domenii în care, mai mult decât în multe alte ramuri ale ştiinţei, este necesar, pentru a controla ipotezele şi rezultatele, să se dea dovadă de multă fineţe şi bun simţ. Georges Darmois, care poseda într-un grad ridicat aceste calităţi, părea predestinat studiilor pe care avea să le întreprindă. Opera sa în aceste domenii ale statisticii a luat, de altfel, două forme diferite, pe care le vom analiza succesiv: în primul rând, el a studiat metodele statisticii şi în special anumite aspecte ale lor, în al doilea rând, a căutat să facă cunoscute metodele sale, să răspândească utilizarea lor, să le facă apreciate la justa lor valoare de către cei care ar avea interes să le întrebuinţeze.

Vrem mai întâi să examinăm principalele rezultate pe care Georges Darmois le-a obţinut în dome

«1 1 m în m M în niul statisticii matematice, pe plan pur ştiinţific.

Una din ideile fundamentale pe care Darmois le-a pus în lumină este aceea a exhaustivităţii. Desigur, Fisher studiase înaintea lui un caz particular, Darmois a fost însă acela care a arătat întreaga importanţă şi valoarea generală a acestei idei. Un exemplu simplu de exhaustivitate se poate obt ine considerând o mărime aleatorie care ascultă de celebra lege a probabilităţii a lui Gauss-Laplace, lege care dă, cu ajutorul unei expresii exponenţiale, probabilitatea abaterii unei valori a mărimii în raport cu valoarea medie în funcţie de o constantă or, dispersia. Gruparea valorilor posibile în jurul valorii medii este cu atât mai strânsă cu cât dispersia este mai mică. Dacă se fac n observat îi independente Xl5 X2… X” ale mărimii aleatorii X, se ştie bine că media ari Linetică

9

=! (X1 + X2 +. + Xn) n este o bună estimaţie a lui m. Dar mai există, în plus, o altă circunistanţă remarcabilă: legea prob abilităţii cond iţionale a n mări în i aleatorii X 1, X2… Xn, când este dată valoarea mediei aritmetice Y, nu depinde de m. De aici rezultă că un observator care a not

at valorile Xi, X2… Xn nu ştie despre în mai mult decât un observator care ar cunoaşte numai valoarea medie Y. Această proprietate remarcabilă a lui Y relativ la în se exprinia spunând că Y este un „rezumat exhaustiv" pentru în Georges Darmois a avut meritul de a fi văzut

1» O în bine importanţa acestei noţiuni şi de a o fi generalizat în afara cazului particular al legii lui Gauss. El a dete rminat forni a g era r al a al egilor prob a bil i – tătii e are admit asemenea rezumate exhaustive şi.

9 9 *

datorită lucrărilor's ale, noţiunea de e xha u stivitate

7 9

a căpătat în toate ţările mari dezvoltări şi numeroase aplicaţii.

Cu teoria exhaustivităţii este înrudită o te o de mai

generală, aceea a „estimatorilor" care, pentru o v ari abilă aleatorie X supus a unei legi a probabili – tăţ, îi dependentă de o valoare medieni, permite să se ia în considerare o funcţie cp (Xb X2… X") care dă o estimat le raţională a valorii lui m. Datorită unor lucrări efectuate de diferiţi autori, şi în *9

special de confratele nostru Frechet, această teorie a estimatorilor a fost aprofundată şi s-au put u t obţine p recizăr i interesante cu privire la limitele erorii ce poate fi comisă utilizând această metodă de estimat, le a valorii medii ni. Darmois a extins aceste rezultate în diferite moduri, în special considerând variabile aleatorii multidimensionale şi presupunând că legea probabilităţii poate depinde de mai mulţi parametri şi nu numai de unic a valoare medie m.

Legca probabilităţii a lui Laplaee-Gauss este atât de importan la inei I se pua te crede că este caracterizată de proprietăţi speciale. Serge Bernstein a arătat că dacă A" şi Y sunt variabile aleatorii independente şi dacă, în plus, X + Y şi X – Y sunt de asemenea variabile aleatorii independente, atunci X şi Y ascultă în niod necesar de legile lui Laplace-Gauss. Dar demonstraţia sa, întrucâtva lărgită de Frechet, se baza pe i p o teze destul de

restrictive. Georges D arm o i s-a reluat aceeaşi a demonstraţie folosind mijloace foarte simple şi formulând ipoteze mult mai largi. Demonstraţia sa a putut fi aplicată unor combinaţii mai generale decât X + Y s i – Y şi a dat loc la numeroase l u crări.

Darmois s-a preocupat de asemenea de probleme de analiză factorială. În acest domeniu ne putem pune problema următoare: A, B, C fiind Lrei v ari abile aleatorii independente, se pot lua în considerare două alte variabile aleatorii independente X şi Y, astfel încât X să fie o funcţie dată de A şi de C, iar Y o funcţie dată de B şi C. Faptul că X şi Y depind de „factorul comun" C are ca rezultat că X şi Y sunt în principiu „dependente". Darmois a căutat să precizeze această dependenţă şi să vadă dacă, în cazuri particulare de de terminat, X şi Y n-ar putea r a în îne independente. Prin raţionamente elegante, el a obţinut astfel un anumit nu măr de rezultate, care au rămas totuşi oarecum fragmentare.

Aceste a sunt principalele lucrări efectuate în domeniul statisticii de regretatul nostru confrate.

A. * * 1 W".

În a treia perioadă a operei sale propriu – zis ştiinţifice. Dacă, înainte de a încheia analiza acestei opere ştiinţifice, aruncăm o privire asupra ansamblului ei, suntem izbiţi de următorul fapt. Atât în fizica matematică cât şi în statistică, Georges Darmois a avut numeroase idei profunde şi noi şi le-a susţinut prin demon's traţii e legante şi convingătoare. Dar aproape întotdeauna a lăsat altora, emuli sau elevi, grija de a complet a opera sa şi de a-i stabili solid dezvoltările şi consecinţele. Cu alte cuvinte, a fost, înainte de toate, un „semănător de idei". Personalitatea sa ne permite să explicăm cu uşurinţă acest caracter al operei sale. Spirit fin şi profund, el sesiza cu uşurinţă adevărurile importante şi ascunse şi ştia să le exprime cu ele ganţă şi precizie. Dar, ca om foarte cultivat şi interesat de toate ideile noi, îşi îndrepta neîncetat atenţia în direcţii diferite, lăsând altora, mai meticuloşi, grija de a le demonstra riguros şi de a le dezvolta până la

capăt. Asemenea spirite sunt de altfel acelea care contribuie cel mai eficace la progresul ştiinţei. Ele deschid căi pe care alţii se angajează fiindcă sunt deschise. Sunt spirite animatoare ale pro greşului ştiinţific care, fără el e, ar fi împiedicat sau întârziat.

*

*

În ultima perioadă a vieţii, Georges Darmois a consacrat o parte important a a activităţii sale unui veritabil apostolat în vederea dezvoltării în Franţa a aplicaţiilor statisticii. Calculul probabilităţilor era demult studiat în t ara noastră de către maeştri eminenţi. Fără a merge înapoi până la ilustrul Laplace, a cărui operă în acest domeniu a fost atât de importantă, putem aminti în epoca contemporană numele lui Emile Borel, al lui Maurice Frechet şi al lui Paul Levy. D ar obiectul principalelor cercetări a fost mai ales aspectul matematic al calculului probabilităţilor şi în mod accesoriu aplicaţiile lui la fizică. Darmois a fost treptat tot mai convins că, după exemplul ţărilor anglo-saxone, în Franţa aplicaţiile metodelor statistice trebuiau să fie dezvoltate nu numai în ştiinţele care până atunci profitaseră prea puţin de ele, ca biologia sau medicina, ci în toate domeniile vieţii sociale, economice, administrative ale ţării.

Sarcina considerabilă pe care a ajuns astfel să o întreprindă cuprindea aspecte diverse. Trebuia, în primul rând, să fie asigurată formarea unor specialişti calificaţi prin învăţământ şi prin lectură. Emile Borel, primul care a înţeles importanţa aplicării calculului probabilităţilor în domenii cum sunt teoria jocurilor, strategia militară etc., a sesizat deja această necesitate. El a înfiinţat Institutul de Statistică al Universităţii din Paris şi, precum am văzut, venind din 1925 să ţină cursuri aici, Georges Darmois a început să se orienteze. către studiile de statistică. Puţin câte puţin, el s-a consacrat din ce în ce mai mult acestui gen de învăţământ, cu începere mai ales din momentul când a preluat el însuşi conducerea Institutului de Statistică şi a devenit titularul catedrei de calculul

probabilităţilor.

El a completat şi reînnoit învăţământul la Institutul de Statistică; a asigurat participarea nu numai a unui mare număr de profesori şi de conferenţiari veniţi din afară, ci şi a unor specialişti aparţinând administraţiei sau cercurilor de afaceri. Întotdeauna avea grijă să-i pună pe elevi în contact cu acele medii profesionale pentru care se pregăteau.

Prin creaţii noi, Darmois a adăugat Institutului de Statistică anexe importante: un centru numit de formare a inginerilor şi a cadrelor, unde stagii de scurtă durată dau o rapidă iniţiere statistică, în special inginerilor, precum şi un Birou de cercetare operaţională care se ocupă cu formarea de specialişti şi cu dezvoltarea cercetărilor în acest important domeniu nou.

Trebuie să mai semnalăm că confratele nostru

1 w 1 w 1

a consacrat două mici lucrări expunerii principiilor statisticii. Prima a apărut în editura Doin în 1928 sub titlul de Statistique mathématique, a doua la Armand Colin în 1934 sub titlul de Statistique et Applications. A completat opera sa de difuzare a metodelor statistice publicând în diverse... eviste un foarte mare număr de articole şi de precizări, prezentând numeroase comunicări la colocvii şi congrese etc.

În afară de învăţământ şi de publicaţii, Georges Darmois a completat efortul său de propagandă! i favoarea aplicaţiilor statisticii prin nenumărate contacte personale favorizate de gentileţea sa binevoitoare. Dotat cu o mare fineţe psihologică, poseda arta de a simplifica problemele şi de a-şi convinge interlocutorii. Ştia să facă înţeleasă importanţa statisticii şi caracteristicile principale ale metodelor sale chiar şi unor nespecialişti şi unor persoane fără cunoştinţe matematice. Rolul său la Institutul internaţional de Statistică, în

7

diverse comisii ale Naţiunilor Unite e tc., se leagă şi de acest gen de propagandă în care excela.

Cunoscând admirabil toate problemele ce se puneau în statistică, în multe reprize, prin articole sau conferinţe, Georges Darmois a atras atenţia asupra unor probleme care nu erau încă rezolvate sau chiar asupra anumitor chestiuni a căror existenţă şi importanţă le semnalase el primul. Nota sa prezentată la Congresul internaţional al matematicienilor de la Bologna în 1928, intitulată Ana lyse et comparaison des series statistiques qui se developpent dans le temps conţine numeroase idei profunde care se leagă – Împrejurare destul de surprinzătoare – de dezvoltările cu totul recente ale teoriei proiectilelor teleghidate.

*

*

Cele spuse până aici arată în final cât de împlinită a fost viaţa regretatului nostru confrate. Şi încă w wAfwl am omis să spunem că, în afară de cariera sa uni

W W „P\ w, w ce

versitară propriu-zisă, Darmois găsise timp să fie profesor la Şcoala de mine, la Şcoala normală superioară din Sèvres şi la Centrul de perfecţionare în administrarea afacerilor al Camerei de Comerţ din Paris şi să îndeplinească succesiv funcţiile de examinator la Şcoala de mine din Nancy, la Şcoala normală superioară, la Şcoala normală superioară din Sèvres, hl Şcoala naţională superioară de aeronautică şi la Şcoala navală. Multă vreme a făcut parte din Comitetul consultativ al Universităţilor şi din comisiile C.N.R.S.-ului; a făcut parte chiar din Consiliul Observatoarelor. Ar fi prea lungă enumerarea tuturor organismelor naţionale sau internaţionale din care a făcut parte şi a tuturor societăţilor al căror membru – şi adeseori temporar preşeduile – a fost.

La toate aceste activităţi trebuie să adăugămo alta, de natură mai particulară, care adeseori nici nu îi era bănuită. Doamna Georges Darmois aparţinea unei familiide proprietari de turnătorie (lin Saint-Die şi fratele ei a condus mult timp turnătoria familiei. După moartea cumnatului său, Georges Darmois a acceptat noua sarcină

de a se duce o dată la cincisprezece zile la Saint-Die pentru a se ocupa, împreună cu directorul, de mersul întreprinderii. Era un „violon d îngres" care nu displăcea unui sp i r i t ca al său, întotdeauna la curent cu realităţile economice. Într-o zi, cineva care îţi /

cunoştea foarte puţin îi spuse: „Ştiam că exista un Darmois fizician şi un altul matematician, dar nu ştiam că exista şi un Darmois turnător" – ceea ce l-a amuzat mult.

De mult timp Academia noastră recunoscuse meritele unui matematician şi gânditor atât de eminent, ale cărui lucrări s-au extins la domenii a atât de diverse. Încă în 1916 el obţinuse o menţiune de onoare în cadrul premiului Bordin. Apoi succesiv este laureat al premiului Montyon de statistică în 1928, al premiului Henri de Parville în 1935, al premiului Bord în 1937, al premiului d'Ormoy în 1941 şi al premiului Poncelet în 1954. Confreriei noastre nu-i mai rămânea decât să-l cheme să intre în rândurile ei. Eram cu toţii de acord să dăm această consacrare înaltei valori a lucrărilor sale. Singura dificultate era de a decide în care secţie

O *

urma să intre. Matematician, fizician, astronom, uneori iar biolog, în calitatea sa de statistician.

Darmois avusese activităţi de o asemenea varietate.

Încât dispunea de titluri pentru a intra în mai multe din categoriile între care se împart membrii Academiei noastre. În cele din urmă a fost chemat să ia loc în confreria noastră în secţia de astronomie, la 2 L noiembrie 1955. Fără îndoială, această „afect are" s-a datorat întrucâtva hazardului locurilor vacante care se produc în mod inopinat printre noi, ceea ce demonstrează bine importanţa, subliniată atât de des de Darmois însuşi, a fenomenelor aleatorii în treburile umane. Intrând în Academie, noul nostru confrate îl regăsea aici pe propriul său frate, Eug & pe Darmois, care de câţiva ani deja făcea parte din secţia de fizică. Timp de trei ani.

1 * f. * w w A w A w A A 1".

cei doi fraţi aveau să rămână împreună în rândurile noastre. Devenit academician, Georges Darmois a fost întotdeauna foarte activ la şedinţele noastre. A pus întotdeauna la dispoziţia comisiilor şi a secretariatului nostru toate resursele vastelor sale cunoştinţe şi ale inepuizabilei sale complezenţe.

În calitate de corespondent al Biroului de longitudini în 1946, era de asemenea foarte activ la reuniunile acestui birou. Şi-a asumat chiar sarcina de a face în Anuarul Biroului de longitudini pe anul 1952 o foarte importantă notă cu privire la „estimarea mărimilor prin măsurarea lor”. A fost numit membru titular al acestui corp savant în 1959, din nenorocire cu puţin timp înaintea morţii sale.

Se apropia de vârsta pensionării universitare când sănătatea sa începu să se zdruncine. Moartea fratelui său Eugene, survenită în noiembrie 1958, acest frate cu care fusese crescut împreună şi a cărui carieră fusese atât de paralelă cu a sa, a fost pentru el un doliu crud. În ciuda bolii, el a păstrat mereu o mare luciditate a spiritului şi a continuat să-şi îndeplinească cu curaj obligaţiile aproape până în ultimele zile ale vieţii sale.

L-am pierdut pe Georges Darmois la 3 ianuarie 1961. Astăzi se odihneşte în micul cimitir din Eply, alături de fratele său, aproape de părinţii săi, care „au fost tinereţea lui fericită”, aşa cum a spus-o în discursul său de recepţie la Academie. Primarul din Eply a dispus ca în sala de onoare a primăriei să fie aşezată fotografia celor doi fraţi, onoarea micului oraş, fotografie pe care i-o trimisese doamna Georges Darmois.

Georges Darmois poseda toate calităţile spiritului şi ale inimii. Inteligenţa sa plină de fineţe era excepţională, cunoştinţele sale erau pe cât de solide, pe atât de vaste, memoria sa era prodigioasă.

Toţi cei care I-au cunoscut vor păstra amintirea bunăvoinţei sale, a delicateţei caracterului său, a’s i m^2 a t i ei pe care o inspira de la p îi în u l contact. Stima şi afecţiunea cu care îl înconjurau toţi acei care îl cunoşteau, colegi, prieteni sau elevi, s-au manifestat în mod deosebit

de emoţionait atunci când; la 12 ianuarie 1957, i-a fost remisă, conform ritualului consacrat, spada de academician; Această ceremonie, care, din cauza unor împrejurări oarecum speciale, a avut loc la Cercul Militar din piaţa St.

— Augustin, reunea un mare număr de persoane aparţinând unor medii foarte diverse, universitare, tehnice sau comerciale cu care îl pusese în contact evantaiul f dar te larg al preocupărilor sale, în cursul unei vieţi destul de agitate.

El nu avea însă, vai! să supravieţuiască mult. timp acestei frum o a se e o n s-a crăr i-a carierei sale ştiinţifice. Vom păşira toţi cu pictate amintirea acestui confrate, savant eminent şi om atât de simpatic, care ne-a fost răpit prematur, după ce a petrecut prea puţin timp printre noi.

NOTĂ DESPRE VIAŢA ŞI OPERA LUI JEAX BECQUEREL

Citită în şedinţa anuală a Academiei de Ştiinţe din 9 decembrie 1963

Domnilor.

În domeniul literelor, ştiinţelor şi artelor s-au văzut uneori apărând, în cursul istoriei, oameni aparţinând unor generaţii succesive ale aceleiaşi familii, care s-au manifestat cu strălucire în acelaşi domeniu şi ale căror opere par a se prelungi şi a prezenta o linie de continuitate. Pentru a nu da decât două exemple din istoria ştiinţelor, putem cita familia Bernoulli şi familia Cassini. Totuşi asemenea exemple, deşi există, sunt rare, căci transmiterea prin ereditate a cali tăţilor intelectuale este capricioasă, iar împrejurările, adeseori aleatorii, care orientează destinele individuale împiedică de cele mai multe ori pe membrii aceleiaşi descendent te de a urma căi paralele.

În ştiinţa franceză, de un secol şi jumătate, cel mai remarcabil exemplu al unei familii care a dat în decurs de mai multe generaţii cercetători ce au lucrat cu un succes deosebit în aceeaşi ramură a ştiinţei şi chittr, s-ar putea spune, într-o direcţie aproape unică, a fost, desigur, familia

Becquerel. Din tată în fiu, patru fizicieni cu acest nume au făcut parte din confreria noastră, fiecare din ei devenind celebru printr-o operă considerabilă şi de cea mai înaltă calitate, care se referă în principal la studiul electricităţii, al opticii şi al radiaţiilor şi, privite în retrospectiva de care dispunem astăzi pentru a le judeca, lucrările lor ne apar ca prelungindu-se şi completându-se reciproc. Aşa încât ni s-a părut cu deosebire indicat să consacrăm una din notele care sunt prezentate anual în această incintă ultimului reprezentant al acestei celebre familii de fizicieni, lui Jean Becquerel, pe care mulţi dintre noi l-au cunoscut şi a cărui operă, minuţioasă şi totodată foarte vastă, nu este poate întotdeauna apreciată la justa valoare din cauza complexităţii ei.

Nu se poate însă vorbi despre Jean Becqucrel fără a evoca mai întâi pe scurt originile familiei căreia îi aparţinea şi figura iluştrilor fizicieni ai căror descendent era şi a căror operă a continuat-o.

Familia Becquerel pare a fi de origine flamandă şi o găsim, acum trei secole, locuind în regiunea Ainiens. După ce s-a instalat o vreme la Paris, s-a stabilit la Châtillon-Coligny, în actualul departament Loiret. Aici găsim, sub domnia lui Ludovic al XVI-lea, un Becquerd exercitând funcţiile de locţiitor al regelui în regiune. Fiul său, care i-a succedat în acest post, a devenit în timpul revoluţiei administrator al regiunii Loiret: el a fost tatăl lui An toine-Cesar Becquerel, primul din marea dinastie a Becquerelilor fizicieni.

A.ntoine-Cesar Becquerel, născut în 1788 şi care avea să atingă vârsta de 90 de ani, a intrat în 1806 la Şcoala politehnică, a terminat, în cadrul ei, arma geniului şi a luat parte activă la războaiele napoleoniene în Spania şi în Rusia. Decorat cu l’giunca de onoare, a mai luat parte şi la campania din Franţa în 1814, apoi a părăsit armata cu gradul de comandant de batalion. De atunci, acest militar de 27 de ani se orientează spre ştiinţă: intră la Muzeul de istorie naturală, pe care descendenţii săi nu aveau să-l mai părăsească. Cariera sa de savant este rapidă şi

prestigioasă. La 41 de ani, în 1829, devine membru al Academiei de Ştiinţe unde va rămâne timp de patruzeci şi nouă de ani. În 1838, se creează pentru el la muzeu o catedră de fizică aplicată la ştiinţele naturale. Întrucât pe atunci nu exista în această instituţie o vârşti de pensionare, va ocupa această catedră şi în al nouăzecilea an al vieţii sale. Nu e cazul să expun eli) aici în câteva rânduri opera colosală a lui Antoine-Cesar, care a format obiectul a circa cinci sute de memorii sau lucrări. Această operă a cuprins în principal ştiinţa, pe atunci încă foarte tânără, a electricităţii. El este cel care a descoperit primul şi studiat fenomenele termoelectrice şi a făcut primele aplicaţii tehnice ale lor, preludii ale tuturor acelora, atât de numeroase şi atât de importante, care există astăzi. El a realizat, înaintea lui Daniell, primele pile cu depolarizarea electrozilor, care permit obţinerea unor curenţi constanţi. În electrometalurgie a fost un precursor şi un realizator remarcabil. Întreaga sa viaţă a reflectat profund asupra relaţiilor ce există între fenomenele electrice şi acelea în care intervin căldura şi lumina. Iar aceste cercetări, atât de diverse şi atât de greu de efectuat cu mijloacele restrânse de care dispuneau atunci fizicienii, el le-a urmărit până la adânci bătrâneţi.

Cel care a preluat făclia scăpată din mâinile slăbite ale părintelui a fost al treilea fiu al său, Edmond Becquerel. Acesta fusese mai întâi preparatorul, colaboratorul, confidentul tatălui său pe care îl ajutase permanent la lucrările sale şi la cursurile sale la muzeu. Elev strălucit, el fusese admis la Şooala politehnică, dar renunţase să intre

A A t

aici, spre a se consacra în întregime sarcinii de a-şi ajuta tatăl şi de a realiza împreună cu el o operă devenită din acel moment comună. Cariera lui ştiinţifică avea să fie şi ea strălucită, întrucât, născut în 1820, el a devenit, în anul 1863, alături de tatăl său, membru al confreriei noastre, iar la moartea acestuia, în 1878, titularul catedrei de fizică la muzeu, catedră pe care avea s-o ocupe până la

moartea sa, la 71 de ani, în 1891. Lucrările sale s-au axat în special pe electrochimie şi electroliză, contribuind mult la cunoaşterea naturii şi legilor lor. A efectuat, de asemenea, foarte importante cercetări asupra paramagnstismului şi a polarizării rotatorii magnetice, recent descoperită de Faraday. În acest fel, el deschidea căi naturale pentru nopotul său Jean care, un secol mai târziu, avea să strângă o recoltă bogată în rezultate foarte

O O

Importante. Dar partea cea mai esenţială poate a operei lui Edmond Becqucrel a fost consacrată fenomenelor în care energia luminii se transformă în energie chimică sau electrică şi fenomenelor inverse. Studiul fosforescenţei i-a reţinut atenţia în toată perioada finală a vieţii sale. În acest domeniu, a studiat amănunţit numeroase cazuri

9

şi a încercat să-i determine cu precizie modalităţile şi legile. Şi astfel el deschidea calea pe care avea să se angajeze fiul său Henri, ajungând să facă una dintre cele mai importante descoperiri ale ştiinţei moderne.

Henri Becquerel, al doilea fiu al lui Edmond, avea, într-adevăr, să continue dinastia Becquerelilor fizicieni. Născut în 1852, el urmează tradiţia familiei sale intrând la Şcoala politehnică şi devine inginer de poduri şi şosele. Strâns asociat la lucrările tatălui său, studiază împreună cu el fenomenul polarizării rotatorii magnetice descoperit de Faraday şi îi determină legile. În 1888 susţine o teză de doctorat asupra absorbţiei luminii în cristale, în speţă în pământurile rare, şi astfel în lucrările sale din tinereţe par deja a se contura liniile mari ale operei fiului său. Apoi, urmând tatălui său la catedra de fizică de la muzeu, devenit profesor la Şcoala politehnică şi membru al Academiei noastre din 1889, el îşi orientează în special lucrările spre studiul fenomenelor de luminescenţă. Şi deodată, la începutul anului 1896, apare imensa descoperire, aceea care va sta la originea întregii fizici nucleare contemporane: punerea în evidenţă a

radioactivităţii uraniului. Prea adesea au fost expuse împrejurările curioase ale acestei mari descoperiri pentru a mai fi necesar să le amintim aici. Extrema ei importanţă fiind imediat recunoscută, Henri Becquerel se bucură de acum înainte de renume internaţional. El nu întârzie de altfel să constate existenţa a trei radiaţii emise de uraniu şi denumite a, p şi y, vede apoi pe Pierre şi Marie Curie completându-i opera prin răsunătoarea descoperire a radiului. De atunci, cele mai înalte recompense vin să încumuicze lucrările sale. În 1803 i se acordă premiul Nobel pentru fizică, pe care îl împarte cu Pierre şi 1\larie Curie, şi în 1U08 îl înlocuieşte pe Albert de Lapparent ca secretar perpetuu al Academiei noastre. Dar chiar în acest an 1908, moare subit în luna august de o criză cardiacă, în vârstă de numai 56 de ani.

Henri Becquerel se căsătorise prima oară cu fiica fizicianului Jamin, care a fost şi el membru

9

al Academiei noastre şi unul din secretarii ei perpetui din 1884 până în 1886. Jamin realizase lucrări foarte frumoase în domeniul opticii şi îşi legase în special numele de dispozitivul interferenţial denumit „oglinzile lui Jamin”. Dacă voi mai adăuga că un nepot al lui Henri Becquerel, Paul Becquerel, avea să devină un specialist eminent în biologia vegetală, om de o înaltă cultură care a fost profesor la Universitatea din Poitiers şi membru corespondent al Academiei noastre, ne vom putea da seama cărei remarcabile familii de mari savanţi aparţinea Jean Becquerel.

*

*

Jean Becquerel s-a născut la Paris, la 5 februarie 1878 din prima căsătorie a lui Henri Becquere 1 cu domnişoara Jamin. Mama sa a murit la 20 de ani.

9 *

scurt timp după naşterea lui, astfel încât el a fost crescut exclusiv de tatăl său. Copil precoce, cu o inteligenţă foarte vie, a fost un elev eminent şi, urmând

tradiţia familiei sale, s-a pregătit pentru Şcoala politehnică unde a fost admis cu un succes strălucit în 1897 şi pe care, ca şi tatăl său, a absolvit-o ca inginer de poduri şi şosele. Atras, fără îndoială prin ereditate, către cercetarea ştiinţifică, el devine în 1903 asistent al tatălui său la muzeu. După moartea prematură a acestuia, la vârsta de numai 30 de ani va fi numit fără dificultate titular al catedrei de fizică de la muzeu, într-atât părea de firesc ca un al patrulea Becquerel să urmeze primilor trei în acest post. În acest laborator va lucra de acum înainte în tot cursul vie tii sale. Măi muc însă în strânsă legătură cu Şcoala politehnică unde, începând din 1011, exercită funcţiile de repetitor adjunct, apoi în 1919 devine repetitor titular şi profesor suplinitor; în sfârşit, în 1924, este numit examinator, post pe care îl va păstra până la pensionare.

În cariera sa rectilinie şi simplă, consacrată în întregime muncii, puţine lucruri sunt de semnalat. Academia de Ştiinţe, care încă din 1899 încurajase debuturile sale în cariera ştiinţifică atribuindu-i premiul Rivot rezervat celor mai buni elevi ai Şcolii politehnice, i-a conferit mai târziu, în 1913, premiul Hughes şi în 1936 premiul La Caze. În sfârşit, în ianuarie 1946 îi urmează lui Jean Perrin la secţia de fizică generală a Academiei noastre. La sfârşitul vieţii era comandor al Legiunii de onoare. Astfel, după ce am spus în câteva cuvinte esenţialul asupra carierei sale, rezervându-ne dreptul de a reveni mai departe asupra persoanei sale şi a câtorva aspecte ale vieţii sale particulare, să abordăm acum analiza operei sale ştiinţifice.

După câteva lucrări din tinereţe, dintre care unele nu s-au confirmat ulterior, Jean Becquerel s-a orientat rapid spre cercetări care continuau cu mare exactitate linia acelora pe care le urmăriseră străbunicul, bunicul şi tatăl său. În acea perioadă, atenţia fizicienilor era atrasă cu deosebire de studiul fenomenului descoperit de Zeeman în 1896 s i cunoscut sub numele de efectul Zeeman. Se ştie că acest fenomen constă într-o descompunere în mai multe linii, sub acţiunea unui câmp magnetic, a liniilor spectrale

emise în mod normal de un a tom. Existenţa efectului Zeeman fusese prezisă de Lorentz cu ajutorul teoriei sale despre electroni, fiind unul dintre marile succese ale acestei teorii. Efectul Zeeman fusese observat mai ales la gaze sau lichide şi se ştie că era în realitate mult mai complicat decât prevedea teoria lui Lorentz, verificată numai în cazuri simple. Jean Becquerel a avut, din 1906, ideea de a studia sistematic acest fenomen în cazul cristalelor, în special la compuşii pământurilor rare. Foarte curând a constatat că în acest caz efect lul Zeeman prezintă caractere cu totul diferite de acelea ce fuseseră întâlnite până atunci. În special, se observă uneori un decalaj al liniilor spectrale în scara frecvenţelor prin efectul câmpurilor magnetice, decalaj care este inversul aceluia pe care îl prevede teoria efectului Zeeman normal. În vremea în care acest fapt, ce părea curios, era astfel descoperit, semnul decalajului liniilor spectrale observate în mod normal se interpreta, după Lorentz, ca o expresie a valorii negative a sarcinii electronului. Jean Becquerel, ca de altfel şi alţi fizicieni, a fost astfel condus să

9 9”.

creadă că decalajul invers pe care îl observa revela existenţa în materie a unor electroni pozitivi şi a făcut câteva experienţe spre a încerca să pună direct în evidentă această existentă. A trebuit să renunţe la această părere şi să admită că electronii prezenţi în mod normal în materie sunt, într-adevăr, toţi negativi. Astăzi ştim că există electroni pozitivi, dar aceşti „pozitoni” nu apar decât în mod excepţional şi n-au decât o durată de viaţă foarte

w A, A * * T

scurtă: ei nu sunt cei pe care îi imagina Jean Becqucrel, iar teoriile contemporane interpretează în cu totul altă direcţie, cu ajutorul unor concepţii noi, inversiunea decalajului liniilor spectrale, pe care el o observase. Dar atunci când făcuse această descoperire, era firesc să se caute a se interpreta fenomenul prin prezenţa normală în materie a unor electroni pozitivi şi, independent de orice interpretare, el avusese meritul de a

semnala un fapt cu totul nou.

Cam în aceeaşi perioadă a avut o idee nouă, care avea să se dovedească foarte fructuoasă şi să orienteze de aici înainte toate cercetările sale ulterioare: aceea de a studia acţiunea temperaturilor foarte joase asupra emisiei, propagării şi absorbţiei luminii în materie. El avea să creeze astfel „optica la t empe r a t un joase”, ramură nouă a opticii, al cărei adevărat creator este şi că Teia avea să-i consacre de aici înainte cea mai mare parte a cercetărilor sale personale. Acest gen de lucrări le-a început la muzeu, dar mijloacele de care dispunea în laboratorul său nu – i p ermiteau deloc să realizeze temperaturi inferioare celei de – 200 grade centigrade. Recunoscând marele interes pe care îl prezenta utilizarea unor temperaturi foarte joase, a luat obiceiul, cu începere din 1908, de a merge frecven t să lucreze la laboratorul criogen din Leiden, unde putea dispune de temperaturi mult mai joase, de ordinul acelora de lichefiere a hidrogenului şi heliului. Astfel a început între Jean Becquerel şi oamenii de ştiinţă care lucrau în laboratorul din Leiden o col Jorare rodnică ce s-a prelungit ani îndelungaţi. La început laboratorul criogen era condus de Kamerlingh Onnes, care l-a înfiinţat. După moartea sa, conducerea a fost preluată de Johannes de Haas. Aceşti doi eminenţi savanţi, care au fost asociaţii din străinătate ai Academiei noastre, erau înconjuraţi de colaboratori de valoare; specializaţi în studiul temperaturilor foarte joase şi Becquerel se afla acolo într-un mediu deosebit de favorabil dezvoltării lucrărilor sale.

Unul din primele rezultate puse în evidenţă în acest domeniu de către Jean Becquerel a fost marea simplificare pe care o prezintă spectrele de absorbţie ale cristalelor atunci când sunt puternic răcite. Când temperatura coboară, se pot vedea benzile de absorbţie observate la temperatura obişnuită descompunându-se în linii spectrale, acestea devenind ele însele mai puţin numeroase şi mai fine. La temperaturi foarte joase, de ordinul a câteva grade Kelvin, unele linii dispar şi un mare număr din ele slăbesc după ce au trecut printr-un

maximum de intensitate. Este deci vorba aici de fenomene foarte complexe a căror interpretare detaliată este dificilă. Totuşi Becquerel a observat foarte clar că această simplificare a spectrelor este datorată simplificării structurilor materiale la temperaturi foarte joa se Agitaţi a termică are ca efect că, la temperaturi obişnuite, e d i ficiile atomice sau moleculare sunt frecvent aduse la n i vei un de energie cuantificată su perio ar a nivelului de era rgi e minimă normală. De aici rezultă posibilitatea unor numeroase tranziţii cuantice corespunzând unor fenomene de emisie şi de absorbţie a luminii. De aici bogăţia şi complexitatea, la temperaturi obişnuite, a spectrului de absorbţie al cristalelor studiate de Becquerel. La temperaturi foarte joa se

w *... W,» 1 W 1 w însă agitaţia termică tinde să dispară progresiv, iar edificiile atomice şi moleculare tind să se imobilizeze în starea lor de energie cuantificată minimă, tranziţiile cuantice posibile diminuează, iar structura spectrelor de absorbţie se simplifică. Astfel numeroasele şi minuţioasele observaţii ale lui Jean Becquerel în acest domeniu permit să se vadă într-un mod foarte izbitor diminuarea agitaţiei termice şi – dacă ne putem exprima astfel – „congelarea" la temperaturi foarte joase a structurilor materiale.

O altă serie de cercetări remarcabile ale regretatului nostru confrate s-a îndreptat spre polarizarea rotatorie magnetică a cristalelor. Fenomenul polarizării rotatorii fusese descoperit pe la mijlocul secolului trecut de către Faraday (1845). Încă din 1854, Verdet enunţa legea care-i poartă numele, după care rotaţia planului de polarizare a luminii în timpul traversării unui corp transparent supus unui câmp magnetic este proporţională cu câmpul magnetic aplicat şi cu grosimea corpului traversat.

Constanta de proporţionalitate a primit numele de „constanta lui Verdet". Henri Becquerel se preocupase mult de acest fenomen şi îi consacrase a doua sa teză de doctorat. În 1897 el a dat o expresie a constantei lui Verdet în funcţie de dispersia corpului traversat (adică de variaţia

indicelui de refracţie în funcţie de lungimea de undă), iar această formulă a lui Henri Becquerel a permis ulterior ca din faptele observate să fie dedusă valoarea numerică a faimoasei constante –, în raportul dintre sarcina electrică şi masa electronului, ceea ce dovedea odată mai mult intervenţia electronului în propagarea luminii în interiorul unui corp transparent. Or, este ştiut că proprietăţile inagne tice ale corpurilor se prezintă sub două forme diferite: diamagnetismul şi paramagnetismul. Diamagnetismul se manifestă în toate corpurile materi al e: el depinde exclusiv de structura internă a atomilor, este deci independent de temperatură şi se traduce prin t r – o magnetizare ac o r p u – lui în sens invers faţă de câmpul care îi este a p licat. Paramagnetismul, dimpotrivă, nu există decât pentru corp urile ai căror atomi şi în olect de au un moment magnetic ne-nul: el rezultă dintr-o alin i ere parţială a acest o r momente, produsă de acţiunea u nu i câmp în agnetic exterior, dar contracarată de agitaţia termică. Paramagnetismul, care se traduce printr-o magnetizare a corpului în sensul câmpului aplicat, este deci funcţie de temperatură şi diminuează rap id atunci când temperatura creşte. Celebrele teorii ale lui Paul Langevin a supra dianiagnetismului şi paramagnetismului au contribuit mult la o mai bună înţelegere a originii şi deosebirilor dintre cele două fenomene care se suprapun în cazul corpurilor param a gne tice, al doilea f e nomen fiind deci mult mai im p or t ani decât primul. Or, legea lui Verdet comp letată cu formula lui Henri Becquerel conducea la considerarea p uterii rotatorii a corpurilor ca independentă de temperatură, adică ca un efect de tip „diamagn e – tic”. În jurul ac e’s te i probleme s-au ridicat controverse şi s-a pus întrebarea dacă nu există şi o putere.ro t a t orie de tip „paramagnetic”, adică de p endentă de temperatură. O mare descoperire făcută de Jean Becquerel în lucrările executate tocmai în perioada 1925 – 1930 a fost punerea în evidenţă la unele corpuri transparente a unei p olari zări.ro ta tori i par am agne tice. Ca orice fenomen de tip paramagnetic, efectul re’s p

ectiv trebuie să se am p de fiice rapid atunci când temperatura coboară. Şi într-adevăr, într-o serie de e erc e ţări foarte numeroase şi foarte minuţioase, ca toate pe care le întreprindea, Becquerel a arătat că polarizarea rotatorie magnetică, adeseori de a importantă la temperatura ambiantă, creşte considerabil atunci când temperatura coboară mult. Astfel la temperatura de 1, 5 grade absolute, rotaţia planului de polarizare produsă de lama unui cristal de tysonit de un milimetru grosime într-un câmp de 27.000 gauss poate atinge enorma valoare de 1 530 grade pentru radiaţia verde a mercurului.

Pe baza datelor experimentale, Jean Becquerel a putut stabili care era variaţia puterii rotatorii în funcţie de câmpul magnetic şi de temperatură. Aşa cum era de aşteptat, formula care exprimă puterea.ro tatone a unui corp paramagnetic este strâns legată de aceea care dă magnetizarea lui şi se compune din doi termeni: primul, de tip diamagnetic, proporţional cu câmpul şi cu grosimea traversată, este independent de temperatură şi corespunde exact legii lui Verdet-Henri Becquerel, în timp ce al doilea, de tip paramagnetic, de asemenea proporţional cu câmpul şi cu grosimea traversată, variază invers proporţional cu temperatura. Acest al doilea termen este acela care devine în întregime preponderent la temperaturi foarte joase şi care produce enormele rotaţii ale planului de polarizare observate de Jean Becquerel.

Ca fizician foarte scrupulos, Becquerel nu se mărginea să observe cu grijă fenomenele, ci căuta şi să le interpreteze, chiar cu preţul unor calcule lungi şi dificile pe care le executa el însuşi. Pentru a descurca încâlceala complicată a fenomenelor pe care le studia, s-a menţinut adeseori în contact cu doi eminenţi fizicieni teoreticieni, specialişti în teoriile cuantice, olandezul H.A. Kramers, astăzi decedat, şi americanul J. I-I. Van Vleck, ale căror nume figurează pe lista membrilor noştri corespondenţi.

Teoria lui Langevin, sub forma ei iniţială sau sub forma puţin modificată pe care i-o dăduse Leon 13 rillouin introducând în ea concepţiile cuantice, nu este riguros

valabilă decât pentru gazele perfecte. Ea prevede o saturare a magnetizării paramagneţi ce prin val orile ridicate ale raportului – dintre câmpul magnetic aplicat şi temperatura absolută. În 1923 Kamerlângh Onnes şi Woltjer, studiind magnetizarea sulfatului de gadoliniu la temperatură foarte joasă (1, 3K) sub acţiunea unui câmp magnetic ridicat (22.000 gaas), ajunseseră aproape să obţină palierul de saturare, cu toate că un cristal de sulfat de gadoliniu este ceva foarte diferit de un gaz perfect. Or., în 1929, Jean Becquerel şi-a dat seama, atât pe baza studiului descompunerii benzilor de absorbţie sub influenţa unui cânip magnetic, cât şi pe baza studiului polaw rizării rotatorii magnetice la cele mai joase temperaturi realizabile, că în cristalele pe care le studia trebuie să existe un câmp electric datorat unor ioni asemănători cu ionii magnetici. Acest „câmp cristalin ar fi elementul care ar descompune stările energetice existente în ionii liberi şi care ar fi astfel la originea efectelor foarte complexe care sunt în general observate. Dacă Kamerlingh Onnes şi \Voltjer au putut obţine cu sulfatul de gadoliniu un rezultat simplu destul de neaşteptat, acest lucru este datorat faptului că în acest corp magnetizarea trebuie atribuită exclusiv spinilor electronilor asupra cărora câmpul electric nu acţionează în aşa fel încât ionul gadoliniu să se comporte ca un ion liber; dar acesta este un caz cu totul excepţional.

Introducerea noţiunii de câmp cristalin în teoria cuantică a paramagnetismului a permis lui Kramers, Van Vleck şi colaboratorilor lor să obţină formule interesante de comparat cu experienţa. Astfel, începând din 1929, Jean Becquerel s-a străduit în mod deosebit să studieze experimental, din acest punct de vedere, corpuri aparţinând familiei fierului (mangan, fier, nichel) şi corpuri din familia pământurilor rare. În cursul acestor cercetări, el a reuşit să obţină pentru prima oară, cu e tilsulfaţii de disproziu şi de erbiu, saturarea paramagnetică completă conformă cu teoriile, rezultat remarcabil care mergea mult mai departe decât observaţiile anterioare ale unei saturări,

apropiată doar de a sulfatului de gadoliniu, ale lui Kamerliagh Onnes şi Woltjer.

O altă descoperire importantă a fost făcută de Jean Becquerel studiind anumiţi carbonaţi cu conţinut de fier şi în special mesitita de Traversella pe care i-a procurat-o noul nostru confrate dl. Orcel. Studiind polarizarea rotatorie produsă de acest corp la diverse temperaturi foarte joase, el a observat fenomene de renianenţă şi de ciclu de magnetizare analoge acelora care sunt clasice

O O

În feromagnetism. Aceste fenomene, cărora Jean

O *

Becquerel le-a dat denumirea de „metamagnetism" şi pentru care a încercat să dezvolte o teorie, sunt fără. Îndoială înrudite întrucâtva cu acelea care au fost observate de Cotton şi Mou ton cu anumiţi coloizi, ceea ce le-a permis să fabrice nişte magne ţi transparent i destul de curios i.

Desfăşurate timp de ani îndelungaţi cu multă conştiinciozitate şiperseverenţă, cercetările lui Jean Becquerel pe care le-am analizat până aici ne-au permis să cunoaştem o masă enormă de fapte noi în domenii care, înaintea lui, rămăseseră total neexplorate. Desigur, teoriile actuale, chiar cu ajutorul concepţiilor cuantice, sunt, cred, departe de a fi permis interpretarea a tot ceea ce a observat el. Acesta însă este un motiv în plus pentru a considera că foarte numeroasele memorii în care el a consemnat rezul Latele minuţioaselor sale lucrări experimentale vor continua multă vreme să

M *

constituie documente preţioase pentru fizicienii viitorului.

N-aş putea încheia această analiză a lucrărilor lui Jean Becquerel fără a spune ceva despre ceea ce a făcut el, în serviciul apărării naţionale, în timpul războiului din 191 t-1918. Mobilizat la începutul războiului cu gradul de căpitan de geniu teritorial, el este ataşat pp, lângă guvernatorul militar din Paris şi însărcin lt să conducă

diverse lucrări de construcţie în regiunea parizianã. Apoi, în octombrie 1915, când încep să se organizeze cercetările ştiinţifice pentru apărarea naţională, Edmond Périer, directorul muzeului şi pe atunci preşedinte al Academiei de Ştiinţe, îl desemnează spre a face parte dintre cei care se vor ocupa cu aceste cercetări. El lucrează în special pentru marină în laboratorul său de la muzeu şi la Toulon. Cu ajutorul lui Matout, care a fost mult timp asistentul şi colaboratorul său devotat, pune la punct un sistem de semnalizare optică între nave, care permite transmiterea secretă a semnalelor Morse. Acest aparat uşor, puţin voluminos, foarte practic de folosit pe mare, realiza un progre simţitor faţă de aparatele deja existente, în special în ceea ce privea distanţa comunicărilor.

A făcut, de asemenea, numeroase cercetări asupra microfoanelor submarine, problemă foarte importantă în acel moment. A pus la punct tipuri noi de asemenea microfoane şi, perfecţionându-le puţin câte puţin, a obţinut rezultate foarte interesante. Astfel şi în aceste domenii de cercetări, întrucâtva speciale, a ştiut să-şi arate calităţile sale de fizician competent şi de experimentator abil.

*

*

În afara importantelor sale cercetări personale, despre care am căutat să dăm o privire de ansamblu, Jean Becquerel a urmărit întotdeauna cu interes şi discernământ etapele de dezvoltare a ideilor fundamentale ale fizicii contemporane. Urmărind cu asiduitate în tinereţe strălucitele cursuri de fizică pe care Paul Langevin le ţinea atunci la Collège de France, el reflectase profund asupra constituţiei atomice a materiei, asupra termodinamicii statice, asupra teoriei relativităţii şi a teoriei cuantelor. În numeroase publicaţii şi conferinţe, a făcut el însuşi expuneri interesante cu privire la anumite aspecte ale acestor probleme. După cum era firesc, a revenit adeseori asupra descoperirii radioactivităţii’s i-a dezvoltării acestei atât de importante ramuri noi a fizicii. A publicat, în special, în 1924, în colecţia Payot, o lucrare intitulată La

Radioacul, Jite et les transformations des elementă.

Dar a arătat un deosebit interes dezvoltării teoriei relativităţii. Cunoştea foarte bine bazele acestei teorii şi în publicaţiile sale, în mai multe rându-ţi, a respins obiecţiile eronate şi mereu repetate ce i se adresau. În această ordine de idei, lui i se datorează o foarte frumoasă carte publicată în 1922, în editura Gauthier-Viilars, sub titlul Le Principe de Relativite et la theorie de la Gravitation, în care a expus bazele şi aplicaţiile teoriei lui Einstein sub forma ei restrânsă şi sub forma generalizată. Lectura cărţii lui constituie şi la ora actuală o excelentă, introducere în studiul acestor dificile probleme. În aceeaşi perioadă, a făcut şi-o expunere mai elementară a teoriei lui Einstein, în colecţia Payot.

În plus, Becquerel a desfăşurat tot în acest domeniu al teoriei relativität îi cercetări într-adevăr personale. Astfel a studiat în amănunţime câmpul de gravitaţie al unei sfere materiale şi a precizat semnificaţia fizică a formulei lui Schwarzschild, într-o interesantă broşură apărută în 1923 în editura Hermann. Problemele ridicate de teoria lui Einstein n-au încetat niciodată să-l preocupe şi la sfârşitul vieţii sale, când ieşirea la pensie i-a lăsat mai mult timp pentru lucrările sale personale, a reluat studiul lor. Injlomptes Rendus din 1951 ale Academiei noastre se află două note scrise de el supra începetinirii cursului timpului într-un câmp în

de gravitaţie şi asupra noţiunii de timp într-un asemenea câmp. Iar în 1953, adică chiar în anul morţii sale, el a mai publicat în Comptes Rendus, în colaborare cu Condere, două note despre deplasarea liniilor spectrale ale galaxiilor şi despre consecinţele expansiunii universului în… legătură cu explorarea spaţiului cosmic. Autorul prezentei note îşi permite să adauge că a avut de câteva ori ocazia să discute cu el asupra acestui gen de probleme şi că a păstrat o interesantă scrisoare în care Jean Becquerel îi semnala o modalitate nerelativistă de a interpreta deplasarea spre roşu a radiaţiilor emise într-un câmp de gravitaţie, făcând să intervină acţiunea acestui

câmp asupra mişcării fotonilor.

Regretatul nostru confrate a fost şi un foarte remarcabil profesor şi toţi cei care l-au ascultat expunând probleme complexe ştiu că o făcea cu o foarte mare precizie şi într-un mod foarte instructiv. Cursurile pe care le-a ţinut la Şcoala politehnică prin anii 1919 – 1921 n-au fost publicate, nici acelea pe care le-a ţinut ani îndelungaţi la muzeu. A publicat totuşi ceea ce s-ar putea considera ca începutul unui curs de fizică generală, în două volume, apărute la Hermann în 1924 şi 1926. Primul volum este consacrat termodinamicii, iar al doilea elasticităţii şi acusticii. Este desigur regre labil că nu a terminat publicarea cursului de fizică generală, pe care aceste două prime volume îl începeau. Deosebit de interesant este volumul consacrat termodinamicii: Becquerel expune în el această ramură a fizicii, dezvoltând, firește, principiile şi formulele clasice, dar considerându-le permanent din punctul de vedere al teoriei atomice a materiei şi interpretându-le, în cele din urmă, prin mecanica statistică. Se ştie cât de greu este de făcut într-o manieră corectă o asemenea expunere: ea poate fi comparată cu un drum presărat cu capcane. Jean Becquerel a ştiut să se achite în reod remarcabil de această sarcină dificilă: citindu-i cartea, se observă claritatea analizelor pe care le-a prezentat asupra principiului lui Carnot-Clausius, asupra deosebirii dintre energia liberă a lui Helmholtz şi energia utilizabilă a lui Gouy, asupra teoriei fluctuaţiilor etc.

Volumul consacrat elasticităţii şi acusticii este de asemenea foarte interesant. Mare amator de muzică, Jean Becquerel a insistat, firește, mult asupra aplicaţiilor acusticii la muzică. Astfel cele patruzeci şi una de pagini pe care le-a consacrat muzicii în expunerea sa de acustică au fost publicate separat, sub formă de broşură, de către editura Hermann în 1926 pentru cei care se interesează de aspectul ştiinţific al muzicii.

În rezumat, din cele ce preced se vede că, în afară de opera sa personală în optioo temperaturilor joase, Jean

Becquerel a posedat o cunoaştere aprofundată a tuturor ramurilor fizicii generale şi a făcut chiar cercetări originale în domenii dificile ale fizicii teoretice.

*

Îmi rămâne, înainte de a termina, să evoc persoana însăşi a lui Jean Becquerel şi câteva amănunte din viaţa sa.

Era de statură mică şi foarte vioi. Îşi susţinea adeseori părerile cu o foarte mare ardoare, dar era întotdeauna curtenitor, afabil şi binevoitor. Era

7 9

un om de o sensibilitate şi de o foarte înaltă valoare morală. Muncitor neobosit, se scula devreme spre a se aşeza la lucru şi adeseori sosea la laboratorul său cu mult înaintea colaboratorilor lui. Cu toate că lucra în strânsă colaborare cu alţi oameni de ştiinţă, îndeosebi cu Kramers şi Van Vleck, efectua şi controla el însuşi toate experienţele şi toate calculele sale, considerând că un adevărat om de ştiinţă trebuie întotdeauna să-şi verifice el însuşi propria sa muncă.

Din nefericire a avut, în tot cursul vieţii sale, o sănătate şubredă. Pare să fi moştenit de la străbunicul său, celebrul Antoine-C6 sar Becquerel, o oarecare debilitate pulmonară. La 15 ani avusese o pleurezie şi un prim atac de tuberculoză. Mai târziu a suferit două reşute din care una în timpul războiului din 1914 la Toulon, a cărui climă, comportând adesea variaţii bruşte de temperatură, îi ra nefavorabilă. 1 n tot timpul existenţei sale a fost nevoit să se menajeze, iar d-na Becquerel, cu care se căsătorise în 1921, a trebuit să vegheze permanent asupra sănătăţii lui.

Locuise mult timp la Paris într-un apartament mare şi spaţios din cartierul Champ-de-Mars. Avea aici o bibliotecă vastă pe care An toine-Cesar Becquerel o constituise şi pe care descendenţii acestuia o îmbogăţiseră. Gustu1 pentru viaţa în se t liber, grija de sănătatea sa şi alte cauze mai fortuite l-au decis în 1923 să părăsească locuinţa pariziană şi să se instaleze cu soţ ia sa la Fonlainebleau într-o vilă frumoasă şi mare unde şi-a putut transporta biblioteca,

amintirile şi documentele. De atunci a locuit acolo în linişte şi totală independenţă. A ce st lucru nu l-a împiedicat totuşi să participe la viaţa locală a frumosului oraş în care locuia. A ţinut acolo conferinţe ştiinţifice şi a p re zi d a t unele ceremonii, ca, de pildă, dis Lribuirile de premii. îi plăcea să organizeze cu prieteni partide de vânătoare, cu deosebire în pădurea de la Othe.

Viaţa liniştită din Fontainebleau avea totuşi pentru el un inconvenient. Numeroasele obligaţii pe care le avea la Paris îi impuneau să facă foarte frecvent drumul de la Fontainebleau în capitală şi înapoi, drum care, cu calea ferată, dura aproape o oră; acest lucru nu ducea însă pentru el la o completă pierdere de timp, căci, ştiind să facă abstracţie de Zgomotele exterioare, se obişnuise să lucreze în timpul mersului trenului.

În 1938, în cursul unei emoţionante ceremonii care a avut loc la Muzeul de istorie naturală, fusese aniversat centenarul creării catedrei de fizică din această mare instituţie. Au fost rostite frumoase alocuţiuni, mai ales de către confratele nostru André Uaute. Cariera şi opera celor patru Becquerel, care fuseseră succesiv titulari ai acestei catedre, a fost pe larg evocată şi această evocare a fost, desigur, foarte impresionantă pentru ultimul dintre ei, Jean Becquerel, care, cu această ocazie, a amintit el însuşi lucrările tatălui său. Zece ani mai târziu, în 1948, Jean Becquerel, în vârstă de 70 de ani şi ajuns la pensionare, părăsea funcţiile sale de profesor la muzeu şi de examinator la Şcoala politehnică. A fost înlocuit în aceste două posturi de Yves Le Grand care, după pensionarea lui Louis Matout, îndeplinea de multă vreme la muzeu funcţia de asistent al lui Jean Becquerel.

Astfel, pentru prima oară după o sută zece ani, catedra de la muzeu înceta de a fi ocupată de un Becquerel.

În timpul celor câţiva ani de pensionare, confratele nostru a dus o viaţă sedentară, însă mereu

laborioasă. Dar puternice dureri în picioare îl făceau

să sufere mult şi îi limitau serios deplasările şi activitatea.

Jean Becquerel avea în Bretania o a doua locuinţă, la Sainte-Marguerite, lângă Pornichet. Era o vilă vastă, înconjurată de un parc împădurit. O botezase „Ar Bann", ceea ce în limba bre tonă înseamnă „Razele", în amintirea marii descoperiri a tatălui său. În ultimii săi ani îşi prelungea şederile în acest loc care îi plăcea mult. Gusta dulceaţa climei oceanice de pe coasta atlantică a Bretaniei şi găsea că iernile erau acolo mult mai puţin reci decât la Fontainebleau. Îi plăcea să stea şi să viseze pe stâncile de la ţărmul mării. Îi mai plăcea şi să se plimbe în pădurile din urul locuinţei sale, simţind11-se complet la adăpost de vânturile din larg, deşi le vedea agitând, adesea violent, coroana arborilor, sus, deasupra capului său.

Iubea natura, avea simt artistic şi era amator

7 9 9

de opere de artă frumoase. Aşa cum am arătat în legătură cu cartea sa despre acustică, era foarte muzical. Aprecia mult muzica religioasă şi a avut tot timpul vieţii sale, mai întâi la Fontainebleau şi apoi în Bretania, o orgă la care cânta adeseori. Îi plăceau de asemenea călătoriile şi, în afara deplasărilor de lucru în Olanda, a făcut adeseori călătorii în străinătate, mai ales în Elveţia, în Oberlandul bernez şi în Italia, pe malurile lacului Maggiore.

Domnilor.

Jean Becquerel a decedat în vila sa „Ar Bann" la 4 iulie 1953, la vârsta de 75 de ani. A murit subit, de o criză cardiacă, ca şi tatăl său. După ceremonia înmormântării, care a avut loc în bisericuţa din Pornichet, corpul său a fost transportat în Loiret la Châtillon, leagănul familiei sale, unde odihneşte acum alături de cele ale străbunicului Antoine-Cesar, bunicului său Edmond şi tatălui său Henri.

Municipalitatea din Fontainebleau a dat numele lui uneia din străzile oraşului. Astfel va fi păstrată amintirea sa în locul unde atât de multă vreme a trăit şi a muncit.

Văzută în perspectivă istorică, opera sa, a cărei amploare şi bogăţie am încercat să v-o arăt, ne apare

astăzi ca strălucita şi ultima înflorire a unei lungi descendenţe de foarte mari fizicieni.

NOTĂ DESPRE VIAŢA ŞI OPERA LUI CAMILLE GUTTON

Citită în şedinţa anuală a premiilor Academiei de Ştiinţe din 13 decembrie 1965

Domnilor.

Întotdeauna este instructiv a studia apariţia ideilor ştiinţifice noi şi dezvoltarea aplicaţiilor ce derivă din ele. Acest lucru este cu deosebire adevărat atunci când e vorba de undele hertziene şi prodigioasele realizări tehnice care, la început mai încet, apoi din ce în ce mai rapid, au decurs de aici. Unul dintre cei care, în Franţa, şi-au consacrat y f 7 9

Întreaga viaţă – o viaţă de muncă şi de cercetări ştiinţei, pe atunci nouă, a radioelectricităţii, este regretatul nostru confrate, recent dispărut, Camille Gutton. Cariera sa ştiinţifică a fost o lungă cale rectilinie pe care a parcurs-o urmărindu-şi munca cu tot atâta perseverenţă câtă modestie, fără ca vreodată să-şi crute eforturile. Aş dori să evoc în acest an în faţa dumneavoastră viaţa şi opera sa, dar mi se pare util ca mai întâi să spun câteva cuvinte despre descoperirea undelor hertziene şi despre primele lucrări pe care această descoperire le-a suscitat.

Concepţia de undă electromagnetică a apărut în nemuritoarea operă teoretică a lui James Clerck Maxwell şi anume în marea sa carte despre electricitate şi magnetism publicată în 1873. Pornind de la ideea de a rezuma ansamblul fenomenelor electrice şi magnetice într-un singur sis tem de ecuaţii, celebrele ecuaţii ale lui Maxwell, marele

9 J 9 7

fizician englez, introducând în formulele sale un termen suplimentar, pe care l-a desemnat atunci sub nuni ele de „curent de deplasare”, a sesizat posibilitatea de a considera lumina ca pe o perturbare electromagnetică ce se propagă în spaţiu. El readucea astfel, printr-o intuiţie genială, întreaga optică în cadrul teoriei generale a

electricităţii şi magnetismului. Se ştie însă că radiaţiile luminoase, chiar atunci când se încorporează în ele radiaţiile infraroşii şi ultraviolete, nu corespund decât unui interval de frecvenţă destul de limitat. Se naşte pe atunci de la sine ideea că prin mijloace electrice a propria te trebuie să se poată obţine emisia de radiaţii electromagnetice având frecvenţe mai mici decât acelea ale luminii (cazul undelor hertziene) sau chiar mai mari (cazul razelor X şi y).

Abia în 1888 Heinrich Hertz a putut obţine, cu ajutorul dispozitivului simplu cunoscut sub numele de excitatorul lui Hertz, unde electromagnetice de foarte înaltă frecvenţă, a căror lungime de undă era abia de ordinul a câţiva centimetri. Hertz studiase şi aprofundase opera llti Maxwell, mort în 1879, şi acest lucru l-a condus la descoperirea existenţei undelor care îi poartă numele. Descoperirea lui Hertz a avut un mare răsunet şi, după moartea prematură a tânărului savant german în 1894, un mare număr de fizicieni s-au apucat să studieze proprietăţile noilor radiaţii. Printre aceştia trebuie citaţi Blondlot în Franţa, Righi în Italia, Sarrazin şi de La Rive în Elveţia. Henri Poincaré, care >!... nu ezita să aplice puternicele sale aptitudini matematice la studiul fenomenelor fizice, a consacrat proprietăţilor noilor radiaţii numeroase lucrări şi, în special, cursul pe care l-a publicat în 1894 sub titlul Les Oscillations electriques. În acest domeniu însă progresele au fost lente: dispozitivele experimentale erau încă rudimentare, procedeele de măsurare imperfecte şi previziunea fenomenelor era dificilă prin faptul că puţini fizicieni cunoşteau atunci teoria lui Maxwell şi ştiau să folosească ecuaţiile sale. În acest climat de cercetări, încă destul de puţin favorabil, Camille Gutton avea să înceapă primele sale lucrări, după cum vom vedea îndată.

Camille Cu tton s-a născut la Nancy la 30 august 1872, cu puţin timp înainte ca oraşul său natal să fie eliberat de sub ocupaţia germană care a urmat războiului din 1870. Tatăl său, avocat la Curtea de Apel, a avut cinci

copii, el fiind cel mai mare. Bunicul său dinspre mamă era profesor de chimie la Facultatea de Ştiinţe din Nancy şi a contribuit la orientarea nepotului său spre o carieră ştiinţifică. Acesta şi-a făcut studiile la liceul din Nancy unde a pregătit bacalaureatul în latină-greacă şi unde a avut un excelent profesor, Collignon, căruia îi datora marea sa uşurintă de a-şi exprima clar şi corect ideile. Primit în 1892 la Şcoala normală superioară, el intră aici cu un an mai târziu, după ce făcuse serviciul militar într-un regiment de infan terie din marele oraş loren. Astfel, i /

şi-a petrecut toată adolescenţa într-o familie foarte unită, mergând în vacanţe la Gerardmer cu rude şi prieteni şi antrenându-se la mersul pe jos, acest sport atât de natural şi atât de ades neglijat de tineretul de astăzi, ceea ce a contribuit la a-i asigura o sănătate excelentă şi o mare rezistenţă la oboseală.

Anii de studii la Şcoala normală au fost pentru el o perioadă fericită şi profitabilă din viaţa sa, perioadă în care a avut excelenţi camarazi şi în special pe foştii noştri confraţi Jean Perrin şi Paul Langevin. A ieşit de aici ca agregat în fizică, apoi, puţin doritor de a rămâne la Paris, a refuzat un post de asistent, preferând să se înapoieze la Nancy.

Reîntors în oraşul său natal, intră la laboratorul i

lui Blondlot, căruia îi va fi de atunci elev şi, în curând, emul. Aici pregăteşte o importantă teză de doctorat pe care o susţine în 1899 şi îşi continuă cu strălucire lucrările în aceeaşi direcţie. Conferenţiar la Facultatea de Ştiinţe în 1902, devine profesor de fizică în 1906: ţine aici cursuri de pregătire pentru licenţă şi predă de asemenea la Institutul de Electrotehnică, atunci înfiinţat în acest oraş. Acest curs la Institutul de Electrotchnică l-a orientat către aplicaţii şi l-a ajutat să dobândească, alături de calităţile unui om de ştiinţă, pe acelea ale unui inginer. Cursurile sale erau întotdeauna perfect clare şi riguroase şi i-au dat ocazia să redacteze un tratat intitulat Generatrices de courant el moteurs elcciriques. Din 1909 până în a putut relua lucrările de

laborator, privind în special viteza: umiii şi unde le hertziene. Vom avea îndată ocazia să examinăm această primă parte a operei sal».

Războiul din 1914 a adus în viaţa sa, ca şi în

aceea a tuturor contemporanilor săi, o per t url are profundă. Constrâns la începutul mobilizării la lucrări deloc demne de eminentul fizician care era deja, Gutton a fost chemat să vină, în condiţii pe care le voi aminti, să colaboreze la Paris cu generalul Ferrie şi astfel a putut juca în tot restul războiului un rol foarte important în progresele, pe atunci atât de rapide şi decisive, ale radiocomunicaţiilor hertziene.

Devenit astfel unul dintre pionierii aplicaţiilor undelor hertziene şi ai electronicii în telecomunicaţii, el este demobilizat în 1918 şi se înapoiază la Nancy, unde îşi reia cursurile şi lucrările, venind totodată în fiecare săptămână la Paris spre a-şi ţine cursurile la Şcoala superioară de Electricitate şi la Şcolile superioare a Aeronauticii şi a P.T.T. şi asigurând controlul construcţiei marilor posturi moderne de radiodifuziune. Tot în aceeaşi perioadă studiază şi pune la punct, fie singur, fie cu diferiţi colaboratori, procedee noi de emisie de unde întreţinute de foarte scurtă lungime de undă. Şi în acest domeniu, Gutton, cu o uimitoare previziune a viitoarelor progrese ale tehnicii, face operă de… pionier.

În 1930, părăsind cu regret oraşul Nancy, unde se născuse şi făcuse aproape întreaga sa carieră, vine la Paris să preia conducerea Laboratorului naţional de radioelectricitate, unde îndeplineşte de asemenea o operă importantă, după cum vom vedea mai departe. În 1938 se pensionează şi, fără a-şi înceta activitatea, se retrage din viaţa publică.

Înaltele sale merite i-au a tras numeroase distincţii. Academia de Ştiinţe, care îi atribuise premiul Henri Becquerel în 1918 şi premiul Kastner-Boursauit în 1922, îl alesese membru corespondent al secţiei sale de fizică în 1928. Fusese de asemenea numit membru corespondent al

Biroului de longitudini în 1933. În 1938, devine membru liber al Academiei de Ştiinţe. Era comandor al Legiunii de onoare.

Aceasta a fost, foarte rapid rezumată, cariera regretatului nostru confrate, iar acum trebuie să studiem, mai aprofundat, diferitele părţi ale unei opere care a contribuit într-un mod atât de important la dezvoltarea cunoştinţelor noastre despre undele hertziene şi aplicaţiile lor.

*

*

Opera lui Camille Gutton poate fi uşor împărţită în trei părţi foarte distincte, corespunzând la trei perioade succesive din viaţa sa. Prima, care se în tinde din 1896 până în 19 llt, este aceea în care a executat la Nancy importante şi minuţioase l-ucrări asupra proprietăţilor undelor hertziene şi asupra aplicaţiilor acestor proprietăţi la rezolvarea unor probleme de interes pur ştiinţific. Apoi, din până în 1919, în cadrul radiotelegrafiei militare, sub conducerea generalului Ferrie, foloseşte profundele cunoştinţe ştiinţifice şi tehnice pe care le poseda în domeniul electricităţii la studierea proprietăţilor lămpilor triode, la perfecţionarea utilizării lor pentru radiocomunicaţii, în special în a via ţie, şi la efectuarea primelor realizări în radiotelofonie făcute în Franţa, lucrări care, câţiva ani mai târziu, urmau să facă posibilă dezvoltarea radiodifuziunii. În sfârşit, din 1919 până la pensionarea sa, odată cu reluarea diferitelor cercetări de laborator la Nancy şi apoi cu conducerea Laboratorului naţional de radioelectricitate, el a realizat primele emisiuni de unde întreţinute pe frecvenţe foarte înalte, dovedindu-se astfel precursorul prevăzător al uneia din ramurile cele mai importante ale tehnicii” radioelectrice contemporane.

În 1896, când revenit la Nancy după absolvirea Şcolii normale, Gutton începe să lucreze cu Blondlot, care tocmai măsurase viteza de propagare a undelor hertziene şi demonstrase experiment al ce. ea este egală cu viteza luminii, ceea ce confirma validitatea ideilor lui Maxwell.

Viitorul nostru confrate începe atunci cercetări cu privire la forma câmpului electromagnetic în vecinătatea unui rezonator llertz. El studiază transmiterea undelor de la un conductor la atunci când între cei doi conductori nu exista legătură metalică. Descurcând cu abilitate o problemă foarte complexă, neavând la dispoziţie decât mijloace încă foarte rudimentare, el arată cum se operează reflexia unei părţi din fluxul de energie către firul primar şi transmisia celeilalte părţi la firul secundar şi reuşeşte să precizeze relaţiile de fază şi de intensitate între undele incidente şi undele transmise. Aceste rezultate au format obiectul tezei sale de doctorat în 1899.

Gutton abordează apoi studiul propagării undelor în medii dielectrice cu scopul de a stabili cu mai multă precizie decât putuseră s-o facă Sarrazin şi Je La Rive egalitatea vitezelor de propagare de-a lungul firelor şi în mediul dielectric. A ajuns astfel să facă constatări precise asupra vitezei undelor hertziene în aer şi în medii cu o mare constantă dielectrică cum sunt bitumul şi gheata. Experienţe ingenioase în care făcea să se interfereze două sisteme de unde, dintre care unul se propaga plecând de la oscilator de-a lungul unei linii metalice, iar celălalt efectua un traseu în aer între două oglinzi parabolice, i-au permis să stabilească că pentru fire de cupru de un milimetru diametru şi lungimi de unde inferioare unui metru viteza de propagare a undelor de-a lungul firelor diferea cu mai puţin de 1/200 de viteza undelor plan „Experimentator foarte ingenios, a reluat apoi aceeaşi problemă, cu şi mai multă precizie, utilizând fenomenul birefringenţei electrice în sulfura de carbon, aranjându-se astfel încât să poată constata incidenţa simultană pe o celulă Kerr a luminii emise de o scânteie şi a oscilaţiilor electrice care încărcau condensatorul celulei. El a reuşit i astfel să arate că între viteza luminii şi aceea a undelor hertziene amortizate care se propagă pe un fir există o foarte mică diferenţă, care este func

ţie de lungimea de undă, de rezistenţa electrică a

firelor şi de diametrul lor.

Camille Gutton a consacrat de asemenea cercetări pentru studierea – aşa cum am amintit mai sus – a propagării undelor hertziene în gheaţă în vederea determinării constantei dielectrice a acestui solid pentru frecvenţa deja foarte ridicată care corespundea la 25 cm lungime de undă. El a aflat o valoare foarte diferită de aceea pe care o măsurase Blondlot pentru undele de zece metri lungime de undă, dar a putut explica acest fapt arătând că constanta dielectrică a gheţii variază de la 3 la 2 atunci când lungimea de undă creşte de la 25 centimetri la 12 metri.

Despre aceste experienţe ale lui Gutton pe gheaţă se povesteşte o anecdotă amuzantă. Le-a efectuat în timpul unei ierni foarte reci cu ajutorul gheţii culese dintr-un eleşteu din împrejurimile oraşului N ancy, dar, cum orice început de topire a gheţii trebuia evitat, a fost nevoit, cu toată asprimea temperaturii, să-şi continue experienţele într-un laborator neîncălzit şi cu toate ferestrele deschise. Ceea ce ne arată cum oamenii pasionaţi de cercetare ştiu la nevoie să se supună unor încercări pe care le consideră necesare pentru succesul lucrărilor lor.

Căutând să determine drumul parcurs de undele hertziene de-a lungul unui fir într-un timp dat, se poate ajunge la măsurarea foarte precisă a acestui timp. Gutton a făcut două aplicaţii interesante ale acestei idei comparând viteza luminii în aer şi în medii refringente dispersive şi determinând dura ta de stabilire a birefringenţei electrice în diferite lichide. Rezultatul acestor experienţe a fost următorul: pentru radiaţiile spectrului vizibil ce pot fi foarte puternic refractate raportul vitezelor în aer şi în lichid este mult superior indicelui de refracţie. Era prima verificare directă a teoriei vitezei de grup, iar celebra formulă datora tă lordului Rayleigh şi lui Gouy, care dă raportul între vi teza de grup şi viteza de fază, a fost verificată exact de frumoasele experienţe ale lui Gutton.

În sfârşit, experienţe foarte iscusite privind durata de

stabilire a birefringenţei electrice i-au permis să măsoare timpi de ordinul timpului de relaxare al lui Maxwell şi să verifice că aces ti timpi sunt cu atât mai lungi cu cât constanta lui Kerr este mai mică.

Acestea au fost principalele lucrări efectuate de Cu tton asupra undelor hertziene în prima parte a carierei sale. Măsurătorile pe care le-a efectuat cu o mare precizie, cu tot caracterul încă foarte imperfect al mijloacelor de care dispunea, arătau rleja ingeniozitatea de spirit, profundele cunoştinţe teoretice şi marea abilitate experimentală a acestui eminent fizician. Ele au fost toate executate cu unde hertziene amortizate, furnizate de oscilatoarele de care dispunea. Se apropia însă momentul când folosirea lămpilor triode urma să-l determine să nu mai folosească decât unde întreţinute, ceea ce ne determină în mod firesc să studiem acum orientarea nouă pe care războiul din 1914 avea s-o imprime lucrărilor sale.

Când a izbucnit războiul din 1914, regulile de mobilizare nu ţineau deloc seama de competenţe şi de situaţii. Camille Gutton, având vârsta de 42 de ani, făcea parte din rezerva teritorială, iar faptul că era un savant eminent şi profesor la facultate nu intervenea în repartizarea sa: a fost mobilizat ca genist şi însărcinat să participe la lucrările de electrificare din garnizoana Toul, unde a avut de efectuat munci de tăietor de lemne şi de teeasier. Totdeauna conştiincios în muncă, s-a achitat i /

fără neplăcere de aceste sarcini. Din fericire, comandantul garmzoanei din Toul era un eminent inginer în domeniul telegrafiei, maiorul Pomcy.

O D 1/ /

care şi-a lăsat el însuşi numele ca fizician. El a dispus repartizarea genistului Gutton la postul de T.F.F. din Toul, unde confratele nostru s-a familiarizat cu practica radioului şi a învăţat să citească după sunet, ceea ce i-a fost foarte util mai târziu. În cursul unei inspecţii, un general a observat că Gutton era profesor universitar, l-a numit ca poral şi l-a repartizat ca magazioner la depoz i tu l regimentului său. Din fericire, în septembrie 1915,

depozitul său este întrebat dacă nu dispune cumva de un profesor de fizică susceptibil de a fi repartizat la Centrul de telegrafie militară şi atunci Gutton vine la Paris să lucreze sub ordinele generalului Ferrie. Dar cum nu era decât caporal, a trebuit să îndeplinească un timp funcţia de şef de dormitor într-o cazarmă pariziană şi să vegheze ca soldaţii să se înapoieze seara la vreme. Era un rol care nu-i convenea deloc şi autorul notei de faţă, care a făcut atunci cunoştinţă cu el la postul de la turnul Eiffel, îşi aminteşte de conversaţiile amuzante pe care le-a avut cu el pe această temă. Curând însă această situaţie a luat sfârşit, el a fost numit sublocotenent cu titlu temporar şi astfel a avut, în sfârşit, o situaţie militară întrucâtva demnă de el.

taci Camille Gutton a fost repartizat la Centrul de telegrafie militară, aplicaţiile undelor hertziene la telecomunicaţii prin radio erau în plină dezvoltare. De vreo cincisprezece ani, cu o perseverenţă pe care n-a-u putut-o obosi nici lipsa de înţelegere, nici încetineala birocratică, Un tânăr ofiţer de geniu, Gustave Ferrie, care a fost mai târziu unul din cei mai iluştri membri ai confreriei noastre, îşi asumase sarcina de a dota armata franceză cu comunicaţii radiotelegrafice. Întrunind calităţile unui şef, ale unui mare animator, ale unui om de ştiinţă şi ale unui tehnician de valoare, el dotase puţin câte puţin armata cu posturi fixe şi mobile din ce în ce mai importante: în special postul de la turnul Eiffel, pe care îl dezvoltase şi îl echipasc treptat, era, în ajunul primului război mondial, în situaţia de a juca rolul important pe care l-a deţinut efectiv. Dar tehnica radioelectrică, cu toate progresele rapide, era atunci încă aproape în faza copilăriei. Posturile de emisie erau echipate cu un material greu, dinamuri şi alternatori care permiteau ca, prin descărcare a unui condensa tor printr-un eclator, să se obţină emisia de unde hertziene amortizate, de mare lungime de undă. Numai posturile cu arcuri, puţin numeroase încă, permiteau să se emită, în condiţii destul de proaste, unde întreţinute. Recepţia se făcea cu ajutorul unor detectori cu galenă de o

mare instabilitate şi fără niciun procedeu de amplificare: astfel, „cititorii de sunet” trebuiau să poarte o cască aplicând receptoare pe urechi şi chiar celor mai buni dintre ei le era greu să perceapă slabele semnale Morse care le parveneau cu o intensitate foarte variabilă însoţite de paraziţi şi de defecte ale detectoarelor.

Situaţia s-a modificat considerabil atunci când.

e 7

la începutul războiului, colonelul Ferrie şi-a putut procura câteva exemplare de lămpi cu trei electrozi sau triode care, realizate cu câţiva ani înainte de Lee de Forest, începeau a fi utilizate în Statele Unite. Proprietăţile admirabile ale acestor lămpi, care permiteau ca ele să fie folosite, cu supleţe şi precizie, pentru detectare, amplificare şi chiar emisie, îl frapaseră imediat şi profund pe Ferrie: în plin război, îndată după bătălia de la Marna, el obţine demobilizarea unor tehnicieni specializaţi de la firma Grammont din Lyon şi, începând de la sfârşitul anului 1914, fabricarea în serie a lămpilor triode pentru telegrafia militară este asigurată, iar în toate serviciile care depind de Ferrie se studiază cu ardoare proprietăţile şi aplicaţiile acestor lămpi minunate.

Gutton soseşte la Centrul de telegrafie în perioada în care tehnica lămpilor triode era în plină dezvoltare. Graţie vastelor sale cunoştinţe ştiinţifice şi tehnice, izbuteşte foarte repede să domine toate problemele pe care le punea pe atunci folosirea triodelor. Începând de la sfârşitul anului 1916, este însărcinat în mod special de Ferrie să construiască, pentru nevoile armatei, posturi de emisie şi de recepţie pentru unde întreţinute, echipate cu lămpi, şi reuşeşte foarte repede să pună la punct posturi de acest gen de mică putere, emiţând pe unde de 300 până la 600 m lungime de undă, posturi care, intrate curând în producţie de serie la Societatea de Contoare, au fost rapid puse în funcţiune pe front. Gut ton a mai primit sarcina specială de a studia şi de a pune la punct posturi cu lămpi pentru aviaţie şi astfel a ajuns să realizeze, prin modularea undelor întreţinute emise, comunicaţii tele

9 7 9

fonice prin unde hertziene, efectuând pentru prima oară în Franţa, cred, un mod de radiocomunicaţie

9 7 7 9

care avea să cunoască mai târziu o dezvoltare prodigioasă. El a putut astfel stabili comunicaţii telefonice între două avioane şi între un avion şi sol. Cu privire la această chestiune a scris el însuşi următoarele „În 1916, la Douaumont, în timpul bătăliei de la Verdun, a fost efectuată o primă încercare între un avion şi sol. Dar abia în 1917 la

9

Villacoublay am putut noi, pentru prima oară în lume, să stabilim o conversaţie între avioane, în pofida problemelor care se puneau în acea vreme: zgomote de motoare, paraziţi, lipsă de confort...". El a condus personal fabricarea acestor posturi, făcând astfel muncă de inginer în contact direct cu atelierele de fabricaţie şi aceste posturi au fost adoptate de către armatele aliate engleze şi americane. Vedem aşadar cât de importantă a fost în acea epocă opera realizată în câţiva ani de regretatul nostru confrate.

În acea perioadă a vieţii sale, şi spre a supune la probe posturile pe care le pusese la punct, Gutton a trebuit să execute numeroase zboruri în avion în condiţii adeseori periculoase, căci aviaţia din acel timp nu era încă prea sigură de sine. În cursul acestor zboruri a avut de suferit mai multe pene şi într-o zi, în largul portului Dunkerque, o pană de hidroavion l-a silit să rămână câteva ore în derivă pe mare aşteptând sosirea de ajutoare. A suportat toate aceste incidente cu curaj şi cu zâmbetul pe buze, iar atunci când unii tineri piloţi, spre a-şi arăta priceperea, îl supuneau la proba unei coborâri bruşte în vrilă, se mulţumea să zâmbească spunându-le că făcuse acest gen de experienţă.

Reluându-şi apoi, în uniformă militară, rolul de profesor, Gutton a ţinut la Plessis-Belleville cursuri despre lampa cu trei electrozi ofiţerilor aliaţi însărcinaţi cu

transmisiunile, dintre care mulţi erau eminenţi fizicieni sau ingineri specialişti în radiocomunicaţii. Aceste cursuri au fost publicate într-o notă secretă rezervată armatei, apoi, minuţios revăzute, i-au servit lui Gutton ca bază pentru redactarea unui mic volum din colecţia Armand Colin, despre care voi vorbi îndată.

În timpul anilor petrecu ţi la telegrafia militară, confratele nostru a legat o prietenie solidă cu generalul Ferrie care, ştiind să judece bine oamenii şi capacitatea lor, sesizase repede excepţionala valoare a noului său colaborator. Totuşi, aveau uneori mici discuţii şi se povesteşte că într-o zi, când Gutton realizase prin intuiţie un montaj a cărui funcţionare nu putuse s-o justifice imediat, Ferrie i-a spus că nu-i decât un biet meşteşugar. A. fost însă unul din acei mici nori care nu întunecă multă vreme cerul luminos al prieteniei.

Armistiţiul din 1918 l-a readus pe Gutton în viaţa civilă, unde şi-a reluat funcţiile la Facultatea de Ştiinţe din Nancy. Revenea aici după ce îşi lărgise considerabil cunoştinţele, căci, înainte de război, toate lucrările sale personale erau aproape exclusiv de ordin pur ştiinţific şi urmăreau proprietăţile şi utilizarea, în diverse experienţe, a undelor hertziene amortizate, furnizate de oscilatorii lui Hertz. Dar după aceea, el a dobândit o mare practică în comunicaţiile radiotelegrafice şi radiotelefonice, a studiat aprofundat proprietăţile lămpilor triode şi a fost un pionier în domeniul foarte vast al aplicaţiilor pe care utilizarea acestor lămpi îl deschisese brusc. A continuat să se preocupe de aceste probleme, şi laboratorul său din Nancy a devenit foarte curând un centru important de cercetări asupra tuturor aplicaţiilor undelor hertziene.

Atunci şi? a îndreptat atenţi a asupra unei chestiuni spre care succeşiunea cercetărilor sale părea să-l fi adus de la sine să o studieze. Toate experienţele pe care le făcuse înainte de război se axaseră pe undele hertziene amortizate cu foarte scurte lungimi de undă, tocmai acelea pe care le descoperise He r tz. Ap oi se famil iarizase cu unde le întreţinute furnizate de emiţători cu triode pe

lungimile de undă mult mai mari pe care le utiliza atunci te legrafia fără fir. D e sigu r, şi-a p u's problem a de a afla dacă nu s-ar putea obţine cu emiţători cu lampă unde întreţinute de foarte scurtă lungime de undă, care să-i permită a relua cu mult mai multă claritate genul de experienţe pe care le făcuse altă dată cu oscilatori Hertz şi care să deschidă posibilităţi cu totul noi comunicaţiilor prin radi o.

Era o idee total opusă acelora care domneau atunci în tehnica telecomunicaţiilor hertziene.: Această t ehn i că, sub influenţa unei analize incomplete a condiţiilor de propagare a undelor electromagnetice în jurul pământului, se orientase treptat, la începuturile ei, spre folosirea exclusivă a undelor lungi, cu lungimi de undă superioare unui kilometru, şi spre sfârşitul războiului noile posturi de e misiune, pe atu noi în construcţie, erau înzestrate cu enorme antene cu reţea şi prevăzute spre a radia unde de câţiva kilometri. În anii care au urmat războiului, s-a produs o reacţie atunci când s-a observat că undele medii şi scurte, ale căror lungimi de undă se întind de la câţiva decimetri până la câteva sute de in îtri, se propagă cu multă u şi urinţ à la suprafaţa pământului şi pot atinge distanţe importante. În acea epocă, în care radiodifuziunea telefonică începea să ia extindere, Gut ton, însărcinat, aşa cum am spus, să participe la controlul construcţiei de noi posturi de radiodifuziune, putea urmări îndeaproape toată această evoluţie a tehnicii, fapt ce avea să-i sugereze ideea că un foarte frumos viitor putea fi rezervat utilizării de unde întreţinute de lungimi de undă mult mai scurte, de ordinul unui metru sau centimetru, obţinute prin emiţătorii cu triodă. Confratele nostru s-a arătat astfel un foarte perspicace precursor al acestei „curse spre hiperfrecvenţe" care caracterizează de treizeci de ani noua orientare a tehnicii radioclectrice.

De la început însă grave dificultăţi se opuneau punerii în practică a unei astfel de încercări. Aparatele de transmisie şi de recepţie folosite în acea vreme cuprindeau întotdeauna, în afara lămpilor triode, circuite oscilante

comportând selfuri şi capacităţi acordate pe lungimea de undă de emis sau de recepţionat. Or, pentru lungimi de undă foarte scurte, selfurile şi capacităţile trebuie să fie atât de mici, încât sunt foarte greu de realizat. În plus, buna funcţionare a lămpiler triode cere ca durata traseului electronilor de la catodul cald care le emite până la anodul care le recepţionează (ceea ce se numeşte „timpul de tranzit”) să fie mică faţă de perioada undei. Or, pentru lungimi de undă foarte scurte, frecventa devine foarte

7»

ridicată şi perioada foarte mică. Pentru lungimi de undă din ce în ce mai scurte, triodele funcţio

7 p

M 1 A W fA *

n? ază din ce în ce mai rău şi sfiesc prin a nu mai funcţiona deloc.

Gutton, care cunoştea perfect toate aceste probleme, s-a străduit să învingă aceste dificultăţi. A fost ajutat, desigur, de lunga sa practică cu oscilatorii lui Hertz, care constituie în realitate circuite oscilante foarte rudimentare la care scifinriucţia şi capacitatea sunt reduse la expresiile lor cele mai simple. El a realizat circuite oscilante în care capacitatea se reducea la aceea a lămpii înseşi intercalate în ele, self-inducţia fiind constituită de o simplă buclă de fir care leagă grila şi placa lămpii.

În aceeaşi ordine de idei, el a încercat, pentru a reduce lungimea de undă, să utilizeze armonicele în circuite distincte. A executat această operaţie cu Pieiâi el, pe atunci asistent la Facultatea de Ştiinţe din Nancy. Tot lui Pierret i-a propus să studieze constanta dielectrică şi dispersia lichidelor polare pentru frecvenţe de ordinul acelora al oscilaţiilor moleculare şi as fel au ajuns să studieze împreună oscilatorii cu unde foarte scurte pe care îi descoperise recent Barkhausen.

Oscilatorul lui Barkhausen este constituit dintr-o lampă triodă pe care nu se aplică o tensiune mică între catod şi grilă şi o tensiune mare între ca tod şi placă, ci, dimpotrivă, o tensiune puternică între catod şi grilă şi o

tensiune mică între catod şi placă. Astfel funcţionarea lămpii este, fireşte, profund modificată, iar electronii, în loc să pornească direct de la catod la placă, încep să oscileze în jurul grilei cu o frecvenţă ridicată, ceea ce permite obţinerea unor unde a căror lungime de undă poate să coboare până la vreo cincizeci de centimetri. Diferiţi fizicieni reuşiseră să perfecţioneze dispozitivul lui Barkhausen făcându-l mai simetric. Printr-o modificare ingenioasă, care permitea dublarea frecvenţei undelor obţinute cu montajul iniţial al lui Barkhausen, Pierret a reuşit să întreţină oscilaţii a căror lungime de undă nu mai era decât de optsprezece centimetri. Aşezând o antenă foarte mică în focarul unei oglinzi cilindrico-parabolice, Gutton şi Pierret au obţinut un fascicul de raze paralele al acestor unde foarte scurte şi au putut realiza cu unde de optsprezece centimetri legături telefonice la o distanţă de câţiva kilometri. Inspirându-se din aceste cercetări, societatea „Le Materiel telephonique" a reuşit să realizeze o instalaţie de intercoinunicaţii între aerodromurile francez şi englez, de o parte şi de alta a strâmtorii Calais.

Cu ajutorul acestor unde întreţinute foarte scurte, Camille Gutton şi colaboratorii săi, în special Beauvais, au reuşit să studieze fenomenele de reflexie, refracţie, polarizare şi schimbare de fază pe care le prezintă ele şi aceasta cu mult mai multă uşurinţă şi precizie decât ar fi putut-o permite folosirea undelor amortizate de frecvenţă analogă, furnizate de oscilatorii lui Hertz.

W-" V

Desigur, aceste prime dispozitive pentru emisia şi recepţia undelor foarte scurte erau încă foarte imperfecte şi nu permi le au să se obţină decât puteri foarte slabe. Cu toate acestea, ca adevărat precursor în materie, Camille Gutton deschisese as Lfel calca extraordinarelor realizări pe care le-a înregistrat de vreo treizeci de ani încoace tehnica hiperfrecvenţelor. Trebuie să aducem omagii lucrărilor sale şi în legătură cu această problemă.

Atât la Facultatea de Ştiinţe din Nancy, cât şi, ceva mai târziu, la Laboratorul naţional de radioelectricitate,

Gutton a condus cercetările colaboratorilor săi participând el însuşi activ la ele. A efectuat personal lucrări asupra armonicelor oscilatorilor, asupra descărcărilor la înaltă frecvenţă şi asupra proprietăţilor dielectrice ale gazelor ionizate în câmpuri de înaltă frecvenţă. A pus la punct împreună cu Laville un electrometru sensibil pentru măsurarea diferenţelor de potenţial alternative, cu aplicaţie la măsurarea constantelor aparatelor telefonice. A publicat un studiu al regimului instabil al releelor amplificatoare, a condus o lucrare a lui Riety asupra curenţilor de diafragmă şi o alta a lui Detrait asupra frecării lichidelor de-a lungul unui perete, a construit o balanţă de inducţie pentru căutarea obuzelor îngropate. Sub directivele sale, Laville a studiat propagarea undelor scurte de-a lungul firelor, d-ra Chenot – propagarea descărcărilor la înaltă frecventă în tuburile conţinând un gaz rarefiat, Beauvais – reflexia undelor electromagnetice şi Michel – permeabilitatea fierului la frecvente ridicate.

O menţiune specială trebuie făcută cu privire la lucrările asupra proprietăţilor gazelor ionizate, efectuate sub conducerea sa de către fiul său, H mi Gutton. Aceste lucrări au pus în evidenţă rezonanţele plasmelor ionizate şi dedublarea lor prin acţiunea unui câmp magnetic, inaugurând astfel un gen de cercetări care ocupă un loc foarte mare în fizica de azi. Această colaborare a lui Camilla Gutt-o «li fi\il său urma de altfel să se prelungească ulterior ani îndelungaţi, în special în domeniul studiului undelor foarte scurte şi al aplicat iilor lor.

Am arătat că în 1930 confratele nostru, părăsind Facultatea de Ştiinţe din Nancy, vine să preia conducerea Laboratorului naţional de radioelectricitate. Generalul Ferrie reunise în jurul său, la Centrul de telegrafie militară, o întreagă echipă de cercetători remarcabili, specialişti în radioelectricitate. Doritor de a asigura permanenţa acestui centru de cercetări, el a obţinut ca acest organism pur militar să ia denumirea de Laborator naţional de radioelectricitate şi, devenit civil, să fie ataşat

Ministerului Poştelor, Telegrafului şi Telefoanelor, sub conducerea lui Gutton. Astfel transformat, acest laborator nu putea rămâne la infinit în baracamentele Telegrafiei militare, unde fusese iniţial instalat, şi Camille Gutton a trebuit să înfrunte dificila sarcină de a-l reinstala în localuri mult mai vaste şi mai bine aranjate: el s-a consacrat acestei sarcini cu conştiinţa şi ardoarea pe care o aducea în executarea tuturor îndatoririlor sale. Noul laborator a intrat în construcţie în 1936 la Bagneux, la doi kilometri de poarta Orléans, şi, începând din anul următor, a putut să intre în funcţiune.

În noul gen de muncă pe care Gutton l-a avut de îndeplinit în acea epocă, metodele precise de măsurat jucau un rol important. A trebuit să pună la punct metodele de măsurat frecvenţe, inductanţe, capacităţi şi rezistenţe. A trebuit de asemenea să perfecţioneze verificarea receptorilor, studiul paraziţilor, al tuburilor electronice, precum şi încercarea izolatorilor întrebuinţati în înaltă frecventă.

Sub îndrumarea sa au mai fost efectuate şi alte cercetări, printre care cele mai importante sunt acelea care se referă la propagarea undelor hertziene în special în straturile înalte ale atmosferei. În acest fel au fost puse în evidenţă, pentru prima oară în mod precis, perturbările pe are le exercită unele fenomene solare asupra propagării undelor hertziene în urul pământului. Acest gen de cercetări a luat astăzi o mare extindere, dar munca efectuată sub îndrumarea lui Gutton la Laboratorul naţional de radioelectricitate încă la începuturile lui a contribuit mult grabnica lui dezvoltare.

Am văzut deja rolul important pe care l-a jucat Camille Gutton la Nancy, ca profesor de fizică şi de electrotehnică la Facultatea de Ştiinţe şi la Institutul de Electrotehnică. Mai târziu, când devenise un mare specialist în lămpi triode şi în comunicaţii radioelectrice, a ţinut în legătură cu aceste subiecte importante cursuri la Şcoala superioară de electricitate, la Şcoala superioară de P.T.T. şi la Şcoala naţională de aeronautică. Dar dacă, spre

cel mai mare profit al elevilor şi al auditorilor săi, şi-a răspândit cunoştinţele prin cuvânt, el a şi scris numeroase şi importante lucrări. Am citat deja cartea sa Generatrices de courant et moteurs electriqrtes scrisă la Nancy în epoca în care preda aici electrotehnica. În timpul şederii sale la Centrul de telegrafie militară în cursul războiului din 1914, el a expus cercetările sale asupra lămpilor triode într-o mică notă rezervată militarilor, pe care îmi amintesc a o fi consultat cu mult folos. Atent revăzută, această notă a fost ulterior publicată în colecţia Armand Colin sub titlul Telegraphie et Telephonie sans fil şi această mică lucrare, reeditată de mai multe ori cu completări, a adus cele mai mari servicii acelora care, în epoca aceea, voiau să se iniţieze în aceste probleme şi poate fi şi astăzi consultată cu folos. O lucrare oarecum analoagă a fost editată, apoi reeditată, în colecţia de Conferinţe-Rapoarte de către Presses universitaires sub titlul La Lampe à trois electrodes. Trebuie să mai citäm, printre alte opere ale lui Gutton, un tratat de radioeleciricitate generală, publicat de Baillière, Lerons de Radioelectricite, apărute la Eyrolles, şi un fascicul d: n Memorial des Sciences physiques, editat de Gauthier-Villars şi consacrat „Liniilor telefonice4. Toate aceste lucrări, clare şi) –) Linde totodată, sunt de o înaltă calitate.

*

*

Câţiva ani după pension are a lui Gutton, jubileul său ştiinţific a fost celebrat într-o şedinţă ţinută

9 9 9 9 9

la Ministerul Poştelor, Telegrafului şi Telefoanelor.

9 * Of

la 10 iunie 1944, într-un moment deosebit de dramatic din istoria noastră. Au fost pronunţate numeroase discursuri şi s-a făcut elogiul marelui savant, al eminentului tehnician, al omului de bine care era confratele nostru. El a răspuns printr-o scurtă alocuţiune, simplă şi emoţionantă.

În ultima parte a vieţii sale a continuat să lucreze în

linişte, dar întotdeauna cu ardoare. Niciodată n-a

9 /

Încetat să se intereseze de problemele care fuseseră obiectul studiilor sale. A urmărit întotdeauna uimitoarele progrese ale tehnicilor radioelectrice şi electronice şi în se ce ial dezvoltarea utilizării undelor foarte scurte, a acestei „curse către hiperfrecvenţe" printre ai cărei precursori se număra. Cu o lună înaintea morţii sale, bolnav şi la o vârstă înaintată, se interesa încă de invenţia laser i lor.

7 9

Regretatul nostru confrate se căsătorise în 1901 şi avusese trei copii, o fiică şi doi fii. Am amin tit de a strânsa colaborare cu fiul său Henri pe p lanul lucrărilor lor ştiinţifice şi tehnice, colaborare care s-a prelungit până la sfârşitul vieţii sale. Printr-o curioasă coincidenţă, nepotul său, André Gutton, în calitatea sa de arhitect-sef al clădirilor civile şi al palatelor naţionale, este însărcinat de câţiva ani cu întreţinere a palatului Institutului şi el este acela care a efectuat recent, cu succesul pe rare îl puteţi constata privind în jurul dumneavoastră, refacerea acestei celebre săli a Cupolei, în care ne aflăm în momentul de fată.

Viaţa de fantil ic a 1 u i Cam ille Cu t ton a fost exe m

9

plară. Era iubit de toţi şi cu deosebire de copiii şi

— w e w A * 1 w w 1, w n poţii săi, cărora îi plăcea să le povestească experienţele vieţii sale. Extrem de muncitor, consacra studiului o mare parte din timpul său; dar se odihnsa cu plăcere, mai ales ascultând muzică; era el în uşi pianist şi îi plăcea să cânte la pian în tovărăşia sotiei sale şi a copiilor săi. Era de o mare bunăta Le şi de o mare simplitate şi îi plăcea să aducă servicii ori de câte ori avea ocazie. Toţi cei care au avut privilegiul să-i fie aproape au păstrat amintirea extremei sale afabilităţi.

Dar anii treceau. Puţin câte puţin Camille Gutton intra în ceea ce Daniel Halevy, folosind o expresie emoţionantă, a numit „tăcerea vârstelor înaintate". Bă irinetea lui a fost senină: era seara unei zile frumoase.

Rămânea tot mai mult la proprietatea sa din Saint-Nom-la-Breteche, aproape de pădurea din Marly. Ca înţelepţii din toate timpurile, îşi cultiva acolo grădina şi îi plăcea să spună confraţilor de la Academie câtă plăcere îi procura a ceas la ocupaţie liniştită. În cele din urmă sănătatea sa începu să se altereze: avea arteriosclerozã, ceea ce îl făcea să sufere mult. Nu mai putea veni decât rareori la şedinţele Academiei noastre, şi i i /

faptul accs la îl amăra mult. A murit la Paris la 19 august 1963, lăsându-ne o neştearsă amintire.

Inspirându-mă din frumoasa concluzie cu care, după decesul său, Maurice Ponte a încheiat scurta dotă despre Camille Gutton pe care a citit-o în faţa confreriei noastre, voi spune în încheiere că el fost una dintre acele mari figuri iubite şi respectate care constituie nobleţea unei Academii ca a acastră şi a unei ţări ca a noastră.

OMAGIU NAŢIONAL LUI JEAN PERRIN

Cu ocazia celei de-a douăzecea ani versări a morţii sale la Paris, vineri 4 mai 1962. Ceremonie la Pantheon

Iată-ne, aşadar, pe toţi în acest înalt loc unde se odihnesc atâtea glorii franceze, reuniţi lângă mormântul lui Jean Perrin, mort acum douăzeci de ani în Statele Unite, în timp ce ţara noastră era supusă grelelor încercări ale ocupaţiei germane. Mulţi dintre noi l-au cunoscut şi au păstrat o amintire de neşters măreţei sale figuri de savant, strălucind toată de inteligenţă şi de bunătate. În prezenţa familiei sale, a prietenilor săi, a discipolilor şi admiratorilor săi, în prezenţa fiului său care, într-o frumoasă carieră ştiinţifică, a păşit pe urmele tatălui şi conduce astăzi una din cele mai importante organizaţii ştiinţifice franceze, doresc din tot sufletul să aduc un omagiu omului despre care am păstrat personal o amintire atât de puternică şi nu cred să pot face acest lucru mai bine decât evocând pe scurt opera ştiinţifică prestigioasă care a asigurat gloria numelui său.

Opera ştiinţifică a lui Jean Perrin

Ultimii ani ai secolului al XIX-lea şi primii ani ai secoluluial XX-lea au văzut succedându-se magnifice

descoperiri ştiinţifice care au marcat debutul acestei noi pe noade a ştiinţei şi a istoriei omenirii căreia îi dăm de pe acum numele de era atomică.

Printre marile opere ştiinţifice care, în această epocă, ne-au deschis porţile universului atomic, aceea a lui Jean Perrin este una dintre cele mai prestigioase atât prin importanţa rezultatelor pe care le-a obţinut, cât şi prin intuiţiile adeseori geniale care l-au călăuzit în cercetările sale.

Către anul 1890, în momentul în care Jean Perrin, născut în urmă cu douăzeci de ani, intra în Şcoala normală superioară, concepţia atomică despre materie se impunea din ce în ce mai mult atenţiei fizicienilor şi chimiştilor. Întrevăzută de filosofii antichităţii, slăvită şi combătută rând pe rând de savanţii secolului al XIX-lea, această concepţie se sprijinea pe zi ce trecea tot mai mult pe un număr crescând de fapte experimentale. Noţiunile de atom, moleculă, ion, electron se precizau sau se introduceau în ştiinţă. Se presimţea că, pătrunzând în structura intimă a materiei, fizicienii aveau să vadă deschizându-se în faţa lor o lume cu totul nouă. Rămâneau însă multe puncte de clarificat: astfel, natura razelor catodice, ale căror proprietăţi începeau a fi tot mai bine cunoscute, dădeau loc la o controversă: unii susţineau că aceste raze erau constituite dintr-un flux de corpusculi, electronii, în timp ce alţii le considerau ca o formă particulară de radiaţii.

Tocmai această problemă a făcut obiectul primei lucrări capitale a lui Jean Perrin. În 1895, la 24 de ani, concentrând un fascicul de raze catodice într-un cilindru Faraday, el demonstrează că razele catodice sunt alcătuite din mici corpusculi electrizaţi negativ şi le identifică astfel cu ceea ce numim de atunci electroni. După acest debut strălucit, Perrin, înconjurat de colegi tineri şi entuziaşti ca şi el, dintre care nu voi numi decât pe Paul Langevin, continuă să urmărească cu pasiune progresele fizicii atomice. Puţin timp după descoperirea de către Röntgen a razelor X, el studiază această radiaţie de natură încă

misterioasă şi arată că, dacă ea face gazele bune conducătoare şi descarcă corpurile electrizate, o face creând ioni sau provocând emisii de electroni. La mai puţin de 30 de ani, renumele său ştiinţific este deja atât de mare, încât este însărcinat cu un curs de chimie-fizică la Facultatea de Ştiinţe din Paris, curs pe care îl va preda timp de peste patruzeci de ani. Încă din acea perioadă, în 1901, el dă o remarcabilă dovadă a lucidităţii concepţiilor sale teoretice propunând într-un articol din Revue scientifique celebrul „model planetar" al atomului, a cărui validitate urma să fie dovedită zece ani mai târziu de experienţele lui Rutherford şi de calculele lui Bohr.

Începând din 1905, Jean Perrin întreprinde cercetările care vor constitui partea cea mai magistrală a operei sale. Căutând să obţină o dovadă indiscutabilă şi cât mai direct posibilă a structurii atomice a materiei, el sesizează posibilitatea unei asemenea dovezi în măsurarea exactă a „numărului lui Avogadro", adică a numărului de molecule pe moleculă-gram. Concordanţa măsurătorilor acestui număr fundamental prin metode foarte diferite ar furniza, într-adevăr, remarcă el, dovada indiscutabilă a structurii discontinui a materiei.

Iată-l deci pe Jean Perrin în căutarea unui fenomen care să-i permită măsurarea directă a numărului lui Avogadro. Cu o perspicacitate genială, el observa în echilibrul emulsiilor fenomenul căutat. Nu este aici locul să dezvoltăm în detaliu clasicele şi admirabilele experienţe ale lui Jean Perrin, pe care le-a rezumat el însuşi în cartea sa Les Atomes. Este de ajuns să amintesc că grăunţele identice de mastic sau de răşină în suspensie într-un lichid în echilibru termic se repartizează în altitudine după o lege cunoscută sub numele de „legea barometrică a lui Laplace" şi că observarea acestei repartiţii în altitudine este suficientă pentru determinarea numărului lui Avogadro. În urma acestor experienţe, care au cerut timp mult, precauţii minuţioase şi o prodigioasă îndemânare experimentală, Jean Perrin obţine pentru numărul lui Avogadro o valoare de acelaşi ordin ca aceea pe care o

prevedeau unele calcule ale teoriei cinetice a gazelor şi foarte apropiată de aceea care este admisă şi astăzi.

Dar, după părerea lui Jean Perrin, dovada crucială a exactităţii ipotezei atomice nu se putea obţine decât prin concordanţa valorilor numărului lui Avogadro obţinute prin metode diferite şi de aceea el a reluat, cu unii dintre elevii săi, determinarea acestei mari constante prin studiul mişcării browniene, a cărei teorie aprofundată o dăduse de curând Einstein. Experienţele asupra mişcării browniene de translaţie şi asupra mişcării browniene de rotaţie executate de Jean Perrin personal sau sub conducerea sa au furnizat valori ale numărului lui Avogadro foarte apropiate de acelea pe care le furnizase studiul emulsiilor.

Aceste memorabile experienţe, care aveau să-i aducă lui Jean Perrin un renume internaţional şi atribuirea în 1926 a premiului Nobel pentru fizică, au fost expuse cu detalii şi rezultate în lucrarea sa Les Atomes, de a citată, şi el a comparat valorile numărului lui Avogadro cu acelea care pot fi obţinute pornind de la fenomenele cele mai diverse, ca repartiţia spectrală a radiaţiei corpului negru, efuziunea gazelor prin orificii, fluctuaţiile de densitate în fluide aproape de punctul critic, culoarea albastră a cerului în timpul zilei etc. Concordanţa tuturor evaluărilor sale îi permitea să conchidă: „Te cuprinde admiraţia în faţa miracolului acestor concordanţe atât de precise, pornind de la fenomene atât de diferite”.

Jean Perrin a desăvârşit magistrala sa operă în acest domeniu printr-un studiu aprofundat al lamelor lichide extrem de subţiri. El a arătat că aceste lame sunt constituite din straturi monomoleculare care se juxtapun ca treptele unei scări. El a putut măsura grosimea acestor lame monomoleculare şi deduce de aici o limită superioară a masei atomilor în perfect acord cu valorile găsite pentru numărul lui Avogadro.

Nu dispun de timpul necesar pentru a expune aici alte aspecte ale operei ştiinţifice ulterioare a lui Jean Perrin, şi anume cercetările’s ale teoretice şi experimentale asupra fenomenelor de fluorescenţă,

precum şi vederile profunde care i-au permis să interpreteze, cu ajutorul fenomenelor de transmutări nucleare, originea căldurii solare şi evoluţia universului stelar. Nu putem face decât o rapidă aluzie la frumoasele lucrări pe care Jean Perrin le-a publicat în ultima perioadă a vieţii sale: Grains de Matière et Grains de Lumière, Les JJ; lements de la Physique şi cele opt fascicule intitulate A la surface des choses, precum şi cartea sa La Science et VEspârance, în care se găsesc atâtea expuneri excelente, observaţii importante şi adesea cugetări nobile.

Şi cum aş putea, terminând, să nu menţionez, cel puţin printr-un cuvânt, imensele servicii pe care le-a adus progresului şi difuzării cunoştinţelor ştiinţifice, organizând Centrul naţional al cercetării ştiinţifice şi punând bazele Palatului descoperirilor?

Jean Perrin a murit acum douăzeci de ani în Statele Unite, în timpul ocupaţiei germane. Toţi cei care I-au cunoscut păstrează despre el o frumoasă amintire. Ei evocă amabilitatea şi bunăvoinţa cu care primea, caracterul său vesel şi optimist, admirabila sa figură de profet al timpurilor viitoare. Şi ei ştiu că opera lui va subzista ca unul «* «i i din cele mai nepieritoare monumente ale ştrinţei timpurilor noastre.

VIAŢA ŞI OPERA LUI NIELS BOHR

Cu o dureroasă emoţie, lumea ştiinţifică a aflat

9 9

leum trei luni despre moartea survenită la Copenhaga, la 18 noiembrie 1962, a ilustrului fizician Niels Bohr, al cărui nume va rămâne pe bună dreptate unul din cele mai ilustre ale fizicii secolului al XX-lea.

Niels Bohr s-a născut la Copenhaga la 7 octombrie 1885. Fiu al unui profesor de fiziologie de la Universitatea din capitala Danemarcei, şi-a făcut studiile în oraşul său natal şi, în timp ce lucra în laboratorul tatălui său, s-a orientat către studiul fizicii, sub îndrumarea profesorului Christiansen. În 1908 a efectuat primele sale cercetări teoretice şi experimentale asupra unor probleme

referitoare la tensiunea superficială. Orientându-se mai mult spre teorie, a obţinut titlul de doctor în 1911, pe baza unei teze privind teoria electronică a metal celor.

Apoi pleacă în Anglia şi lucrează succesiv la Cambridge, la Cavendish Laboratory, sub conducerea lui Sir J.J. Thomson, apoi la Manchester, în laboratorul lui Ernest Rutherford, unde se desfăşura o susţinută viaţă ştiinţifică şi unde cercetă

9, 9 9 9 9

torii se preocupau intens, de toate problemele privind structura a tomilor. În acest mediu favorabil, atenţia lui Bohr s-a orientat spre problemele atomice şi în 1913, la vârsta de 27 de ani, a publicat lucrare care avea să-i asigure, dintr-odată, un loc de prim plan printre fizicienii lumii.

Primele informaţii asupra structurii interne a atomilor pe care fizicienii le-au putut strânge le-au fost furnizate prin observarea spectrelor luminoase pe care diverşi atomi sunt susceptibili a le emite: aceste informaţii au fost completate mai târziu de studiul spectrelor razelor X care, datorită lucrărilor ui Laue şi ale lui Moseley, începeau a fi cunoscute în momentul în care tânărul Bohr lucra la Manchester. Interpretarea informaţiilor astfel obţinut; rămânsa însă o problemă dintre cele mai dificile. Puţin câte puţin lucrările lui Balmer, ale lui Rydberg şi ale lui Ritz au permis clasificarea liniilor spectrelor luminoase şi reprezentarea frecvenţei lor cu ajutorul unor formule precise, dar empirice, iar ulterior Moseley izbutise şi el să descopere legi empirice ale spectrelor razelor X. Dar relaţiile astfel descoperite nu puteau fi deloc interpretate cu ajutorul ideilor teoretice pe atunci admise asupra emisiei radiaţiilor şi Henri Poincaré putea să scrie prin 1905 că adevăratul sens al legilor spectrale rămânea unul din cele mai mari secrete ale naturii. Între timp, ideile noastre cu privire la structura atomilor se precizaseră datorită lucrărilor lui Rutherford şi ale şcolii sale: se admitea de atunci

1 1

că în centrul atomului îşi are sediul un nucleu încărcat pozitiv, în care este concentrată aproape întreaga masă a atomului, nucleu înconjurat de electroni care s-ar învârti în jurul lui sub acţiunea forţei Coulomb, aşa cum se învârtesc planetele în jurul Soarelui. Dar acest model planetar al atomului nu permitea explicarea legilor spectrale, deoarece, aplicându-i-se ideile teoriei electromagnetice asupra emisiei radiaţiilor prin sarcini în mişcare, se ajungea la presupunerea că atomii trebuiau să emită radiaţii de frecvenţă continuu variabilă şi că trebuiau să fie instabili, deşi se ştie bine că atomii sunt stabili şi susceptibili de a emite linii spectrale de frecvenţă bine definită. Niels Bohr a avut atunci ideea remarcabilă că, pentru a prevedea fenomenele spectrale reale, trebuie să se aplice modelului planetar al atomului leşile cuantelor pe care în 1900 Planck, printr-o intuiţie genială, le introdusese în teoria radiaţiei corpului negru şi care îi permiseseră să interpreteze în sfârşit legea experimentală ce dă repartiţia spectrală a energiilor în radiaţia de echilibru termic.

Bohr admite, aşadar, că mişcarea electronilor în atomul planetar este cuantificată, că mişcările cuantificate ale electronilor intraatomici sunt stabile şi că, contrar afirmaţiilor teoriei electromag

f O

netice clasice, ele nu dau naştere nici unei radiaţii. Radiaţia apare atunci când atomul trece brusc de la o stare cuantică la alta, ducând cu sine energia pe care atomul o pierde în această bruscă tranziţie. Aplicând relaţia dintre energie şi frecvenţă (E = hv), caracteristică teoriei cuantelor, Niels Bohr enunţă celebra sa „lege a frecvenţelor”, care îi permite să prevadă frecvenţa radiaţiei emise la fiecare tranziţie cuantică.

Bazându-se pe acest ansamblu de idei noi, tânărul fizician danez regăseşte forma exactă a legilor spectrale revela tă prin experienţă. El regăseşte în special formula lui Balmer cu valoarea numerică exactă a constantei lui Rydberg care figurează în ea; el interpretează spectrul

heliului ionizat, precum şi faptul, curios la prima vedere, că constanta lui Rydberg pentru heliu n-are chiar aceeaşi valoare ca pentru hidrogen. El furnizează astfel o schemă generală, conformă în liniile ei mari faptelor, a ansamblului spectrelor elementelor, schemă care permite şi interpretarea imediată a legii lui Moseley, lege care leagă frecvenţele observate în domeniul X de numărul atomic al elementului emiţător. El leagă, în sfârşit, variaţia periodică a proprietăţilor elementelor din tabloul lui Mendeleev de existenţa nivelurilor de energie pentru electronii atomici, ceea ce permite ca, pe baza determinării potenţialelor de ionizare şi de rezonanţă, să se deducă valoarea acestor niveluri de energie.

Publicarea memoriului lui Bohr în 1913 a fost pentru fizicieni o adevărată revelaţie. Lumea necunoscută a interiorului atomului se deschidea hrusc în faţa lor: sute de fapte experiment a 1 e, inexplicabile până atunci, îşi găseau în cele din urmă interpretarea. Toate cercetările fizicii atomului primeau prin aceasta un imbold decisiv.

Bohr însă nu se îmbătă de succes. Dovedind în acest fel profu nzimea se iritului său, sesiza lacunele operei lui şi ce re a ca imaginea atât de seducătoare furnizată de modelul plane tar al a tomului să nu fie luată prea ad Htteram. Introducerea stărilor slationare cuantificate ale atomului şi a tranziţiilor bruşte între aceste stări îi păreau să indice că conceptele noastre obişnuite privind mişcarea corpusculilor nu sunt riguros aplicabile fenomenelor atomice, opinie pe care dezvoltarea mecanicii ondulatorii avea s-o justifice, zece ani mai târziu, în între şi ni e.

Una din lacunele pe care Bohr le putea sesiza cu uşurinţă în opera lui era că teoria sa despre atom, dacă p ermitea să se prevadă cu exactitate frecvenţele liniilor spectrale, nu fixa nici intensitatea şi nici p olarizarea lor. În timp ce s-o nimerfeld şi alţii, continuând opera lui Bohr, precizau calculul frecvenţei liniilor spectrale, tânărul savant danez, printr-un nou şi remarcabil efort, ajungea la o previziune aproximativă a intensităţilor şi a polarizărilor, datorită folosirii „principiului de corespondenţă” pe care l-

a enunţat în 1916. Curios principiu, într-adevăr, care este mă i curând o idee directoare decât un veritabil principiu! Pornind de la observaţia că teoria electromagnetică clasică reprezintă cu exactitate fenomenele la scară mare, el trage concluzia de aici că această teorie trebuie să fie o reprezentare statistică exactă a fenomen, lor în care intervin un mare număr de cuante. Extrapolind această idee în domeniul numerelor cuantice mici, el extrage de aici o metodă care permite ca, pe baza formulelor electromagnetice clasice, să se deducă unele indicaţii aproximative asupra intensităţii şi polarizării liniilor spectr ale emise de atomi, indicaţii pe care experienţa le confirmă. De atunci, acest pe incipiu de corespondenţă, profund prin importanţa lui şi suplu în aplicaţiile sale, va servi drept ghid unei întregi şcoli de fizicieni. După ce fusese conferenţiar la Copenhaga şi la Manchester, Niels Bohr revine definitiv la Copenhaga în 1916 ca profesor titular de fizică teoretică. Elevii se inspiră de atunci din gândirea sa şi realizează lucrări strălucite: printre ei este şi Werner Heisenberg care în cuTÂnd, la 25 de ani, avea să dezvolte a sa mecanică cuantică.

Continuând reflecţiile sale asupra structurii atomului, Niels Bohr a arătat, în anii care au urmat primului război mondial, cum edificiul atomic se complică treptat, pe măsură ce înaintăm în tabloul lui Mendeleev. De aici a tras tot felul de concluzii asupra edificării straturilor şi nivelurilor de electroni intraatomici şi asupra corelaţiilor care există între această edificare progresivă şi variaţia concomitentă a proprietăţilor elementelor. Aceste cercetări foarte importante au avut un mare răsunet, iar legea de saturaţie a nivelurilor electronice, la a cărei

7

precizare a condus ea, poate fi pusă în strânsă legătură cu principiul de excluziune, enunţat ceva mai târziu de W. Pauli.

Nu am putea să terminăm acest examen al primei părţi a operei lui Bohr, fără a semnala că el mai este şi autorul unei teorii a începetinirii suferită de

electroni în timp ce traversează materia, teorie

— W A 1 A, care a jucat şi joacă încă un mare rol în interpretarea acestui gen de fenomene.

Dar din 1930 încoace descoperirile referitoare la nucleul atomului, la razele cosmice, la constituenţii ultimi ai materiei (neutroni, pozitroni, mezoni...) se înmulţesc. Bohr nu rămâne indiferent în faţa lor, ci orientează o parte dintre elevii săi din Copenhaga spre studierea acestor probleme. El însuşi, demonstrând, odată mai mult, originalitatea spiritului său, a dezvoltat o concepţie nouă despre ciocnirea unei particule de un nucleu, insistând asupra faptului că particula intră în coliziune nu cu unul din constituenţii nucleului, ci cu nucleul consider 7

rat în ansamblul său, şi această lucrare importantă a contribuit la progresul fizicii nucleare. El continua să elaboreze profunde studii teoretice asupra fenomenului fisiunii nucleare când ocuparea Dane

1 v 1 * 1 *, W V V w mărcii de către germani l-a silit să-şi părăsească ţara. Revenit la Copenhaga în 1945, devenit preşedinte al Academiei de Ştiinţe daneze, a continuat să îndrume şi să anime un grup important de cercetători. Lucrând în legătură cu C.E.R.N. din Geneva, a contribuit extrem de mult la organizarea serviciului de cercetări teoretice al acestui important centru de studii nucleare. Era încă în plina activitate intelectuală când moartea l-a lovit subit.

În această analiză a lucrărilor lui Niels Bohr am lăsat intenţionat deoparte până acum interpretarea dată de el mecanicii ondulatorii şi cuantice pe baza concepţiei sale despre „complementaritatea" undei şi corpusculului şi aceasta fiindcă concepţia respectivă îmi inspiră, la ora actuală, multe îndoieli. A sosit însă momentul să spun câteva cuvinte în legătură cu această chestiune. În perioada 1923 – 1927, insuficienţa vechilor teorii cuantice fusese recunoscută şi luase naştere mecanica ondulatorie. Bohr a urmărit cu interes această mişcare de idei la care participa elevul său \Verner Heisenberg, atunc; i când a

dezvoltat, în 1925, „Mecanica cuantică”, despre care, ceva mai târziu, Erwin Schrödinger avea să arate că nu este decât o transpunere matematică a mecanicii ondulatorii. Interpretarea „probabilistă” a mecanicii ondulatorii de către Max Born şi deducerea de către Heisenberg a faimoaselor sale „relaţii de incertitudine” l-au orientat pe Bohr spre o interpretare a mecanicii ondulatorii cu totul diferită de aceea care călăuzise eforturile primului au tor al acestei teorii. În timp ce eu concepeam corpusculul ca pe o foarte mică regiune de înaltă concentraţie de energie, încorporată unei unde cu caracter fizic care se propagă în spaţiu în cursul timpului, Nicis Bohr, prin raţionamente subtile, dar uneori cam vag conturate, ajunsese să considere unda şi corpusculul ca „aspecte complementare” ale realităţii fizice care se manifestă suc, *

cesiv, dar niciodată simultan. În urma Consiliului de fizică Solvay, ţinut la Bruxelles în octombrie 1927, opinia lui Bohr a fost adoptată de majoritatea teoreticienilor, care de altfel i-au dat adeseori forme destul de diferite de aceea propusă iniţial de autorul ei.

Totuşi, această teorie a „complementarităţii” comporta consecinţe grave: abandonarea relaţiilor cauzale între fenomenele fizice succesive, abando

* 1 1 1 W

narea oricărei imagini clare despre undă şi corpuscul în cadrul spahiului şi timpului, în sfârşit aband onarea, proclam aţă irem e diabilă, a oricărei reprezentări a tranziţiilor cuantice care „ar transcende” orice descriere. Renunţări atât de mari, atât de puţin conforme cu mod urile de gândire care asiguraseră succesul ştiinţei moderne, sunt oare, într-adevăr, necesare? Ca deal tfel Planck şi Schrödinger, Albert Einstein nu s-a raliat niciodată pun e tu – lui de vedere al lui Bohr şi cei doi ilu ştiri fizicieni au avut între ei vii controverse pe această temă. Einstein a considerat întotdeauna că forma dată mecanicii cuantice de cei mai mulţi teoreticieni

— V w 1 v constituia o teorie statistică exactă, dar că ea nu dădea o descriere completă a realităţii fizice: el

înţelegea, desigur, prin aceasta că descrierea completă tre’ b u ia să le om port e o imagine pre e i s-a a relaţiilor dintre undă şi corpuscul, foarte diferită de concepţia destul de nebuloasă a complementarităţii. Personal, revenind la ideile mele iniţiale, sunt de vreo zece ani din no u convins că Einstein avea dreptate şi că trebuie obţ mută o reinterpretare a mecanicii ondulatorii care, respectând în ansamblul lor legile statistice, desigur exacte, v * * w CE

precum şi ceea ce numim astăzi „mecanica cuantică şi „teor i-a cuantică ac în p u îi lor”, ar restabili pentru undă şi pentru corpuscul imagini fizice clare şi bine definite. Nu este însă aici locul să întreprindem o analiză a acestei prea dificile probleme şi ne vom mărgini să constatăm că teoria complementarităţii a u cât un rol foarte mare în evoluţia fizicii contemporane şi că ea pare a se bucura încă de a i în pat ia celor mai în u Ui te ore ticieni.

Acestea fiind spus e, şi oricare ar fi soarta pe care viitorul o rezervă concepţiei bohriene ac o m^2 elementarităţii, este cert că opera globală a ilustrului fizician din Copenhaga rămâne demnă de cea mai vie admiraţie. Din această operă, şi cu deosebire din memorabila sa teorie despre atom şi despre nenumăratele ei implicaţii, a decurs întreaga imensă dezvoltare a fizicii atomice şi nucleare de o jumătate de secol încoace: fără Niels Bohr toată această dezvoltare ar fi fost imposibilă. De aceea numele w v A f v w A 1 1 V 11” 1

său va rămâne, fără nicio îndoială, unul din cele mai mari ale ştiinţei secolului al XX-lea. De altfel, i i”.

acest om, amabil şi binevoitor, inspira tuturor simpatie. Trebuie deci să ne înclinăm cu respect în faţa marii figuri a gloriosului fizician dispărut de curând.

OMAGIU MEMORIEI LUI fiMILE MEYERSON

Domnule Preşedinte, doamnelor, domnilor[29].

Ceea ce poate justifica participare a mea la omagiul

29 Discurs pronunţat la Sorbona în faţa Societăţii franceze de filozofie, la 26 noiembrie 1960.

ce se aduce astăzi memoriei eminentului gânditor care a fost Emile Meyerson este faptul că l-am cunoscut întrucâtva la sfârşitul vieţii sale şi că am avut atunci cu el convorbiri interesante asupra evoluţiei prin care trecea în acea perioadă fizica teoretică. Îl revăd încă, într-o vastă cameră din apartamentul său, aşezat într-un fotoliu încăpător pe care, bolnav deja, nu-l mai părăsea. Figura sa gânditoare, lunga sa barbă căruntă, atmosfera de reculegere care îl înconjura evocau în niintea mea celebrul tablou al lui Rembrandt, Filosof în meditaţie. La el am întâlnit destul de des pe Paul Langevin, pe generalul Metz, pe André Georges şi pe alţi câţiva.

Meyerson dorise să cunoască pe omul, tânăr încă, îndrăzneţ şi timid totodată, al cărui nume îi atrăsese de curând atenţia prin înalta recompensă internaţională pe care o primise. El voia să mă întrebe despre progresele recente ale fizicii atomice şi cuantice şi despre evoluţia noilor teorii fizice, al căror mare interes îl cunoştea, dar a căror orien

A * – 1 1* * w 1

tare 11 inspira, desigur, unele îngrijorări.

n te adevăr, Meyerson era convins că omul de ştiinţă trebuie, în mod necesar şi instinctiv, şi.

9 9 7 / 9

de altfel, raţional, să creadă în realitatea obiectiv a a lumii exterioare; în operele sale insistase nu o dată asupra îngustimilor şi aspectelor sterilizan te fi t w i din interpretările sistematic pozitiviste sau pragmatiste ale cunoaşterii ştiinţifice. Aşadar, nu fără

9 9 9 9

mirare şi fără aprehensiuns vedea el fizica teoretică

A 1 1 Al „” >* f v w angajându-se de câţiva ani pe căi care o făcuseră să nu mai distingă cu claritate obiectivul de subiectiv, să pară a pune la îndoială realitatea lumii exterioare şi să multiplice, ca altă dată Auguste Comte, interdicţiile pretins definitive, în numele unui „fenomenism” intransigent. Această orientare cu totul nouă a teoriei fizice nu-mi aparţinea. După ce enunţasem

concepţiile de bază ale mecanicii ondulatorii şi le văzusem confirmate de experienţă, căutasem să obţin din uniunea strânsă a undelor şi corpusculilor pe care ea o introducea o im a gin e concretă şi văzuse şi eu cu îngrijorare şi cu mirare dezvoltându-se o interpretare în întregime diferită de ceea ce descoperisem eu. Îmi amintesc că, în perioada aceea, în cursul unei conversaţii, un membru al Academiei de Ştiinţe îmi spusese: „Tinere, ai făcut o descoperire: ei bine, cloceşte-l bine oul”. Această frază şi imaginea pe care o evoca mă amuzase mult. Or, după ce-mi clocisem bine oul, am văzut cu surprindere ieşind din el ceva ce nu era d el o e ceea ce aşteptam. Atunci când l-am cunoscut pe Meyerson, această surpriză era încă destul de recentă şi din această cauză eram, mai mult decât alţii, susceptibil să înţeleg mirarea şi îngrijorările filosofului din Identité et Realite. Cunoşteam însă foarte bine, întrucât mă lovisem de ele, dificultăţile considerabile pe care le prezenta dezvoltarea unei i margini concrete a legăturii dintre unde şi corpusculi, imagine care să exprime tot ceea ce progresele mecanicii ondulatorii ne revelas eră. D ar, nep ut în ci să duc la bun sfârşit tentativele mele de interpretare concretă şi văzând că i e ei mai mulţi teoreticieni ai fizicii cuantice r esp ing sugestiile mele, mă resemnasem să adopt interpretarea lor probabilişti şi nu mai speram că s-ar mai putea găsi alta. De aici rezultau, în convorbirile mele cu Meyerson, unele fluctuaţii: în unele momente Bimpatizam în totul cu el, căci simţeam atras de ideile pe care le dezvolta, în alte momente îmi spuneam că aceste idei erau condamnate de evoluţia contemporană a fizicii teoretice.

În momentul în care diverşi cercetători, printre care şi cel ce vă vorbeşte, se întreabă dacă nu s-a mers prea departe în abandonarea imaginilor concrete şi a realismului fizic şi dacă într-adevăr, cum pretind unii, descoperirea fenomenelor cuantice nu ne-a obligat să modificăm complet baza explicaţiilor ştiinţifice, o examinare rapidă a ideilor lui Meyerson prezintă un mare interes şi vine cu adevărat la momentul potrivit.

Pentru Meyerson, ştiinţa nu caută în mod exclusiv să formuleze legi, aşa cum se afirmă adeseori: ca cercetează în mod necesar şi cauzele. Pentru el, dacă s-ar mulţumi cu „legitatea” fără a se preocupa de „cauzalitate”, ştiinţa ar deveni analoagă magiei. El avea dreptate, şi aceasta fără îndoială

1 w 1 V w f*

am putea adăuga noi – din cauză că fizica cuantică contemporană a renunţat parţial la cauzalitate, unele din aspectele sal e pot lua – conform unei observaţii maliţioase a lui Schrödinger – un caracter de magie. Pentru Meyerson, adevărata explicaţie ştiinţifică urmăres te în mod necesar cauzalitatea, concepută sub forma unei persistenţe sau a unei legături cauzale în timp, a unui fel de preformare a consecventului în antecedentele sale. În acest sens, după el, a explica înseamnă a identifica, iar cauzalitatea merge mai departe decât legitatea, deoarece ea cere o anumită identitate în timp a elementelor realităţii fizice.

Această concepţie asupra mersului gândirii ştiinţifice Meyerson şi-a forinat-o după lungi meditaţii, sprijinite pe o profundă cun o aş te re a istoriei ştiinţei. Era convins că, în liniile ci mari, mersul gândirii umane este acelaşi la toţi oamenii, la omul civi

9 /

lizat ca şi la cel primitiv, la savant ca şi la omul de pe stradă. De aceea, dădea multă importanţă studiului vechilor teorii ştiinţifice, chiar a acelora care ni se par astăzi naive sau perimate, deoarece le considera pe toate ca revelatoare, sub diversele lor forme, a tendinţelor profunde ale spiritului nostru în efortul pe care îl efectuează căutând să înţeleagă succesiunea fenomenelor naturale. De aceea a supus unei analize foarte fine şi aprofundate evoluţia teoriilor mecanice şi atomice din antichitate până în zilele noastre, precum şi aceea a teoriilor nemecanioe, cum este fizica calităţii a lui Aristotel.

7 9

Chimist devenit filosof, Meyerson nu putea să nu se intereseze în mod special de istoria teoriilor chimiei. El a arătat interesul real al teoriei, totuşi

7 9

Inexactă, a flogisticului şi a scos bine în evidenţă opera capitală a lui Lavoisier.

Deoarece Meyerson vedea în teoriile fizice, înainte de toate, un mare efort de identificare, marile principii de conservare ale fizicii trebuiau, firește, să fie obiectul unui studiu foarte atent din partea sa. Cu o mare fineţe a analizat el principiul inerţiei, care exprimă conservarea cantităţii de mişcare, v t i w principiul conservării energiei şi cel al conservării materiei. El regăseşte pretutindeni tendinţa raţiunii noastre de a discerne permanenţe în necontenita curgere a lucrurilor. A analizat de asemenea teoriile corpusculare vechi şi contemporane, în care observă un fel de „sferă a lui Parmenide", precum şi teoriile „câmpului" care, într-un anumit sens, sfârşesc prin a identifica materia şi spaţiul. În toate aceste tentative, el regăseşte tendinţa „de a identifica" a raţiunii umane şi, constatând succesele

9 f 7

obţinute, trage de aici concluzia că numai raţiunea singură ne poate conduce la înţelegerea şi explicarea fenomenelor naturale.

Eminentul filosof era însă un spirit prea fin, prea obişnuit să cântărească ce e pentru şi ce e contra, prea convins că ideile, chiar exacte, au limitele lor de validitate, pentru a nu resimţi tot ce era irealizabil în riguroasa desăvârşire a procesului de identificare urmărit de a dintă. Autorul lucrării Identité et Realite regăsea astfel ideile care îl inspiraseră de la primcic sale lucrări. Dacă, spunea el, r fortul raţiunii umane, atunci când construieşte

9 t 9

teorii ştiinţifice, este esenţialmente un efort de identificare în sensul mai sus precizat, dacă acest efort a condus la foarte mari succese, dezvăluindu-ne astfel profunde articulaţii ale realului, el n-ar putea totuşi să-şi

atingă complet scopul, deoarece ar ajunge atunci la concluzia absurdă că lumea fizică nu este decât o vastă tautologie. Această lume fizică, aşa cum o putem cunoaşte prin percepţiile noastre, este în esenţă diversă şi eterogenă, noi nu o putem studia fără a nu ne lovi mereu de „iraţional” *, iraţionalul fiind, în sensul lui Meyerson, „ceea ce rezistă la identificare”. Ştiinţa vrea să regăsească pretutindeni identicul şi preexistentul: într-un sens, aceasta este o pretenţie nebunească, ce trebuie să se lovească mereu de diversitatea lumii reale, de iraţionalul meyersonian.

După ce am rezumat astfel acest aspect al gândirii lui Meyerson, cum am putea să nu evocăm subtila antiteză a lui Paul Valéry: „Omul este absurd prin aceea că el caută, dar e admirabil prin aceea că el găseşte”.

Să notăm, în treacăt, că studiul aprofundat al principiului lui Carnot, care diferă de toate celelalte principii ale ştiinţei prin faptul că implică un sens privilegiat al evoluţiei lumii, reţinuse mult timp atenţia eminentului gânditor care vedea în el cel mai bun exemplu al cazurilor în care tendinţa de a identifică a rat iunii noastre se loveşte de o anumită „iraţionalitate” a devenirii fizice.

Cu toate acestea, deşi sesiza clar limitele pe care natura lucrurilor le impune raţionalizării totale a realului, Meyerson vedea în opera ştiinţei un efort continuu al gândirii noastre pentru a descoperi pretutindeni în lumea fizică identitatea şi permanenta, pentru a explica această lume fizică „printr-un minimum de lucruri exterioare spiritului şi de lucruri care se conservă”. El considera a ceas la evoluţie a gândirii ştiinţifice drept normală, evoluţie care fusese rodnică în trecut şi ajunsese la inările succese ale ştiinţei moderne, calea de la care teoria fizică nu trebuie să se abată în vii lor pentru că îşi dovedise validitatea. Se înţelege dec şi cu uşurinţă că, în jurul anului 1930, Meyerson îi văzuse cu uimire şi îngrijorare pe fizicienii teoreticieni părând a pune la îndoială obiectivitatea lunii fizice şi încetând a crede într-o legătură

cauzală a fenomenelor ce se succed. Desigur, el însuşi insistase asupra apariţiei frecvente şi, după părerea sa, inevitabile a iraţionalului în lumea fizică, dar credea că spiritul uman va căuta întotdeauna, şi cu succes, să reducă partea de iraţional fără să reuşească vreodată complet şi să regăsească în fluxul fenomenelor observabile lejături de cauzalitate. În micul fascicul pe care l-a scris pentru colecţia Actualităţi ştiinţifice şi indus triale sub titlul Reel et Determinisme en Physique quantique (Paris, Hermann, 1933) şi care a fost, cred, ultima sa

1 A 1 * *, v scriere, el examinase, în obişnuita sa manieră prudentă şi meticuloasă, evoluţia teoriilor fizicii cuantice. Fără a se pronunţa categoric împotriva indeterminismului cuantic, se simţea că e plin de rezerve faţă de formele pe care acesta le lua atunci în lucrările multor oameni de ştiinţă. la sfârşitul expunerii sale scria: „Orice ar avea, fizicianul nu se poate gândi la un lucru care ar fi în acelaşi timp corpuscul şi undă şi trebuie să se mulţumească a gândi la un obiect care este, rând pe rând, unul sau alta[30]. Şi atunci, noţiunea însăşi a obiectului tinde să pălească la el, tinde să-i scape în aşa măsură incit, în dezorientarea sa, ajunge să-şi limiteze gândirea la matematica pură, să nu mai raţioneze decât ca matematician. De aici – iar nu din anomaliile înde Terministe – provin, după cât ni se pare, afirmaţiile fenonienis te sau idealiste ale unor savanţi (ca Bohr, Born şi Heisenberg). Am arătat cu câtă prudenţă se cuvine să le primim". Şi adăuga: „Fizicianul cuantelor, ca fizician, gândeşte desigur care alist, nu poate gândi decât care alist". Ap o i, ceva mai departe, termina spunând: „Fizicianul, în viitor, va fi aproape inevitabil împins, aşa cum au spus s-a vanţi eminenţi, să caute semnificaţia fizică a conceptelor pe care i le furnizează raţionamentul matematic... Nu ne putem îndoi, într-adevăr, că, dacă s-ar oferi cea mai mică posibilitate, am vedea pe cercetători

30 Te o ri a dublei soluţii, pe care o enunţasem în 1927 şi pe care în prezent o reiau, are ca obiectiv tocmai evitarea acestei obligaţii, realizînd o reală sinteză a undei şi corpusculului.

revenind, în grabă, la o imagine a Universului cât de cât concretă, realizabilă în gândire, la un \Veltbild, după expresia lui Planck”.

Acum aproape treizeci de ani, când citeam această concluzie la sfârşitul unui fascicul ac arui prefaţă o scrisesem, cu tot respectul pe care mi-l inspira măreaţa figură a unui mare gânditor ponderat şi imparţial, care ajungea atunci la capătul carierei sale, mă întrebam dacă avea dreptate. Ideile pe care le dezvolta mi se păreau juste, dar nu eram sigur că ele ar fi compatibile cu evoluţia recentă a fizicii cuantice, cu ansamblul concepţiilor pe care, sub presiunea opiniei aproape unanime a colegilor mei fizicieni teoreticieni, le introdusesem în cercetările mele şi în cursurile predate. Astăzi mă simt cu mult mai dispus decât atunci să-l aprob în întregime. Orice ar crede mulţi dintre tinerii fizicieni, care poate că n-au meditat îndea uns asupra înv a ţămintelor is t ori ei ştiinţelor, stadiul actual al fizicii cuantice nu are, desigur, nimic definitiv şi dacă s-ar ajunge, revenindu-se la primele mele idei, după cum sper din nou de câţiva ani, să se interpreteze mecanica ondulatorie rêve

1 v nindu-se la imagini mai conc Tete ale reali t ăţ îi microfizice, s-ar constata din nou tot ce era profund în concepţiile lui Me yerson, tot ce era poate profetic în concluziile pe care le-am citat adineauri.

Nu este mă a! ci locul să se deschidil uilu verse asupra transformărilor posibile aţa leoriilor fizicii cuantice şi vreau doar, terminând, să exprim dorinţa ca opera atât de profund originală a lui Eniile Meyerson, această operă în care el, ani îndelungaţi, studiase cu atâta grijă, fineţe şi erudită competenţă edificarea ştiinţei de către spiritul uman, să nu cadă într-o uitare care ar fi cu totul nejustificată şi ca, prelungind acţiunea unei gândiri puternice, să continue în viitor să alimenteze meditaţiile acelora care reflectează asupra mersului gândirii ştiinţifice.

PASCAL – OM DE ŞTIINŢĂ»

Doamnelor, domnilor.

În omagiul adus astăzi memoriei lui Blaise Pascal, îmi revine rolul de a vorbi despre opera sa ştiinţifică. Trebuie, în primul rând, să amintesc că, dacă Pascal, încă din fragedă adolescenţă, a manifestat pentru ştiinţă un gust şi aptitudini remarcabile, a fost nu numai fiindcă aceasta era una din tendinţele înnăscute ale geniului său fulgurant, ci şi fiindcă găsise în familia sa un mediu favorabil dezvoltării acestei tendinţe. Tatăl său, Étienne Pascal, era preşedintele Curţii auxiliarilor din Clermont-Ferrand, dar, fiind un spirit de mare anvergură, nu şi-a limitat activitatea la îndeplinirea meseriei sale de înalt funcţionar al administraţiei finanţelor. Cum se întâmpla adeseori în epoca aceea, în momentele sale de răgaz cultiva ştiinţele, era un excelent geometru şi lui, iar nu fiului său, îşi datorează denumirea de „melcul lui Pascal” una din curbele clasice ale geometriei. Étienne Pascal era în relaţii permanente cu întregul grup de savanţi al cărui animator şi secretar era pe atunci pir nu te le M; rsenne, grup care urma să capete ni: îi târziu, datorită lui Colbert, o existenţă oficială şi să devină Academia de Ştiinţe.

Blaise Pascal, născut în 1623, a fost, după cum se ştie, un copil foarte precoce. Nu trebuie totuşi să credem că tatăl său, văzându-l foarte dotat, l-ar fi împins de timpuriu spre studiul matematicilor. Dimpotrivă, el căuta mai curând să-l abată de la ele, vrând în primul rând să-l facă să-şi însuşească o solidă cultură clasică şi literară. Ştiinţele însă îl atrăgeau în mod invincibil şi, cu toate că tatăl său n-ar fi vrut să-i orienteze studiile în această direcţie, el a fost foarte de tânăr un veritabil

7

autodidact în această materie. Povestiri relatate mai târziu de persoane din familia lui spun că la vârsta de 11 ani, atenţia fiindu-i atrasă de studiul

7 9

fenomenelor sonore, a compus un adevărat mic tratat de acustică. La 12 ani ar fi redescoperit el însuşi toată prima parte a geometriei lui Euclid până la şi inclusiv a 32-a teoremă a lui Euclid, după care suma unghiurilor unui

triunghi este întotdeauna egală cu două unghiuri drepte, teoremă căreia i-a dat o demonstraţie printr-o metodă foarte directă.

E greu de spus dacă este sau nu vreo exagerare în reuşitele matematice din copilărie ce i se atribuie lui Blaise Pascal, pare însă cert că la o vârstă foarte tânără el a dat dovadă de o inteligenţă extraordinar de precoce şi îndreptată de pe atunci spre problemele ştiinţifice. Ceea ce este absolut sigur e că la 16 ani a scris un „tratat despre conice", conţinând rezultate de o mare originalitate. În această lucrare şi în acelea care au urmat, Pascal, inspirându-se din lucrări anterioare ale lui Desargues, a făcut imense şi foarte importante aplicaţii noi la curbele care, de la geome Lri greci, poartă numele de „secţiuni conice". Unul din rezultatele cele mai remarcabile pe care le-a obţinut astfel este o renumită teorentă relativă la hexagoanele înscrise într-o conică, teoremă care oferă, în fond, condiţia pentru ca şase puncte luate într-un plan să fie aşezate pe aceeaşi conică. Această teoremă, d anumită uneori hexogrania mis tisă, îi fusese în – spirată de un rezultat analeg obţinut de Desargues, dar ea a constituit o generalizare foarte largă a acesteia. Cu toate că Descartes, întotdeauna foarte personal şi puţin binevoitor, ar fi judecat cu destulă severtate lucrarea genialului adolescent, această 1 ucrare constituia, atât prin metodele folosite, cât şi prin rezultatele obţinute, o etapă decisivă în progresele geometriei. Animată de un spirit foarte diferit de acela care îi inspirase lui Descartes geometria sa analitică, ea rămânea pe linia clasică a geometriei tratate direct, fără ajutorul algebrei, şi deschidea e alea aceleia care avea să devină mai târziu, datorită în special lui Poncelet la începutul secolului al XIX-lea, geometria proiectivă.

În timp ce cariera ştiinţifică precoce a lui Blaise

Pascal începea cu atâta strălucire, tatăl său, după ce părăsise Curtea auxiliarilor din Clermont şi locuise câţiva ani la Paris, fusese trimis la Rouen de către cardinalul Richelieu ca intendent al Norânandiei; această funcţie a

deţinut-o din 1632 până în 1648. Tocmai atunci când abia depăşise 20 de ani, tânărul Pascal, doritor să-şi ajute tatăl, care avea de efectuat calcule complicate pentru repar… 1,» 1 V 1.

tiţia impozitelor, inventează şi dirijează el însuşi construirea primei „maşini aritmetice”: el obţine pentru fabricarea acestei maşini un „privilegiu” din partea cancelarului Seguier şi de aici un beneficiu comercial. Cu toate că maşina aritmetică este bazată pe principii simple, care nu cer un raţionament matematic complicat, punerea ei la punct era delicată, mai ales în acea epocă în care nu se folosea sistemul zecimal şi când, pentru a facilita calculele lui Étienne Pascal, trebuia să se ţină se-a de faptul că unitatea monetară de atunci, livra, valora douăzeci de bani. Invenţia maşinii aritmetice de către Pascal a furnizat primul prototip simplu al unei maşini de calculat. Şi în acest domeniu Pascal a fost un mare precursor: ne dăm seama astăzi, în special, întrucât de vreo douăzeci de ani, datorită resurselor pe care ştiinţa electronicii le pune la dispoziţia tehnicienilor, au fost construite şi necontenit perfecţionate acele puternice şi costisitoare maşini care se numesc „calculatoare electronioe” şi care efectuează în câteva becunde calcule care ar solicita creierul uman ore iau chiar ani. Ideea de a construi o maşină susceptibilă să efectueze rapid calcule a fost aşadar o idee fecundă şi plină de viitor. Pascal, care a avut nevoie de nouă ani spre a pune complet la punct invenţia sa, a întrevăzut clar importanţa, dar totodată şi limitele ei. Ca şi cum ar fi presimţit dinainte exagerările unor ciberneticieni contemporani, el a scris cu multă justeţe: „Maşina aritmetică realizează efecte care se apropie de gândire mai mult decât tot ce fac animalele, dar ea nu face nimic care ne-ar putea face să spunem că are voinţă ca animalele”.

Pascal este cufundat încă în lucrările sale pentru realizarea maşinii aritmetice când, în 1644, atenţia acestui tânăr de 21 de ani, îndreptată mereu spre noi investigaţii, este atrasă de o altă problemă, căci părintele Mersenne

tocmai îi revelase invenţia, făcută în Italia, a unui admirabil instrument nou: barometrul. La începutul reflecţiilor sale asupra acestui nou subiect, Pascal pare să fi ignorat că invenţia barometrului era datorată lui Torricelli şi să nu fi cunoscut ideile acestui discipol al lui Galilei privitor la presiunea aerului. Faptul, de multă vreme cunoscut, că, dacă prin extremitatea superioară se aspiră aerul conţinut într-un tub a cărui extremitate inferioară e cufundată într-un lichid, lichidul se ridică în tub şi umple porţiunea de tub în care s-a făcut vid, era de mult interpretat, spunându-se că „Natura nu suportă vidul”. Aceasta era o manieră acceptabilă în fond de a traduce faptul experimental, dar nu era câtuşi de puţin o explicaţie veritabilă. Or, în epoca despre care vorbim, inginerii fântânari din Florenţa au descoperit un lucru foarte tulburător: dacă se încearcă să se ridice o coloană de apă într-un tub foarte lung prin aspirare la capătul de sus al tubului, se constată că apa refuză să urce la peste aproximativ zeoe metri, lăsând un vid în partea de sus a tubului. Galilei, care avusese cunoştinţă de acest fapt neaşteptat, îl interpretase spunând că oroarea naturii de vid avea o limită şi Pascal pare să fi adoptat la început acest destul de ciudat punct de vedere. Curând însă el se răzgândi şi adoptă explicaţia propusă de Torricelli pentru a verifica înalt mea limitată a coloanei de mercur din tubul său barometric. Această explicaţie, foarte raţională de data aceasta, admite că atmosfera, exercitând o anumită presiune asupra bazei coloanei de lichid, o face să urce în tubul evacuat, dar că această ascensiune se opreşte atunci când greutatea coloanei ridicate echilibrează presiunea atmosferei. 1) e îndată ce s-a raliat la această idee, Pascal proclamă că natura nu are nicidecum oroare de vid şi că, deasupra nivelului lichidului care s-a ridicat în tubul barometric, capătul de sus al acestui tub este realmente vid. El intră astfel în contradicţie flagran tă cu ideile 1 ui Descartes ale cărui revendicări de prioritate, în ceea ce priveşte admirabilele experienţe ale lui Pascal, nu par deloc întemeiate. Dovedindu-se un experimentator tot atât

de abil pe cât de profund teoretician, Pascal imaginează şi realizează experienţe foarte ingenioase, foarte greu de dus la bun sfârşit cu mijloacele de care se dispunea atunci: aceste experienţe îi aduc dovezi foarte convingătoare în favoarea vederilor sale teoretice. Cum însă adversarii săi continuau să adreseze critici interpretărilor sale, Pascal, care se ocupa de această problemă de aproape doi ani, se decide în toamna anului 1647 (nu avea decât 24 de ani) să pună să se execute sub conducerea sa o experienţă crucială, constând în măsurarea simultană a înălţimii mercurului dintr-un barometru, la poalele unui munte înalt, la vârful acestui munte şi eventual la umătatea înălţimii acestuia. Locuind în Paris, el nu poate executa personal experienţa, cum însă cumnatul său, Florin Perier, soţul surorii sale Gilberte, este consilier la Curtea auxiliarilor din Clermon t-Ferrand, îi scrie la 15 noiembrie 1647 cerându-i să efectueze măsurătorile necesare la Clermont, la poalele lui Puy de Dôme şi la vârful acestui munte destul de înalt, dându-i în acest scop toate instrucţiunile necesare. Din diverse motive, Perier nu-l poate satisface imediat pe cumnatul său şi abia la 19 septembrie 1648, dată memorabilă în istoria ştiinţei, poate executa măsurătorile cu ajutorul câtorva clerici preocupaţi de a dint a din Clermont-Ferrand.

Istoria acestei experienţe este prea cunoscută pentru ca să insist aici asupra ei: voi aminti numai că ea a adus o confirmare completă şi de necombătut ideilor lui Pascal asupra cauzei care produce ascensiunea mercurului în tubul barometric Meritul realizării experienţei revine, fără îndoială, lui Perier şi colaboratorilor săi clermontezi, dar Pascal, care a întocmit planul experienţei şi care a dirijat de la distanţă întreaga execuţie cu o exw» 1 J

tremă precizie, ne apare aici ca unul dintre primii realizatori ai riguroasei metode experimentale a ştiinţei moderne.

Pascal, care a repetat la Paris experienţa de la Puy de Dôme – tot cu rezultate pozitive, dar la o scară mai mică –, între baza şi vârful turnului Saint-Jacques şi, fără îndoială,

între parterul şi etajul superior al unei case, a întrevăzut imediat în ea câteva aplicaţii practice, cum ar fi evaluarea altitudinilor prin variaţiile presiunii barometrice şi folosirea corelaţiilor existente între fenomenele

9 m 9

meteorologice şi variaţiile presiunii atmosferice la nivelul solului pentru previziunea timpului, previziune care, trei secole mai târziu, rămâne încă destul de incertă.

Dar Pascal, teoretician profund, a sesizat limpede legătura dintre legile presiunii atmosferice pe care le verificase şi legile mai generale ale echilibrului fluidelor. Câţiva ani după experienţa de la Puy de Dâme, în 1653, a dezvoltat, într-o formă w A, w A A a 1 1 lw care rămâne şi astăzi în întregime valabilă, principiile generale ale hidrostaticii, în două lucrări intitulate Trăită de l'Equilibre des liqueurs şi Trăite de la Pesanteur de la masse d'air. În aceste scrieri găsim în speţă enunţul principiului pe care îl numim şi azi „principiul lui Pascal" şi teoria presei hidraulice care, permiţând ridicarea unei greutăţi mari cu ajutorul unei forţe mici, este analogul hidrostatic al pârghiei. El a tras de aâcă concluzia că „ceea ce se câştigă în forţă, se pierde în viteză", enunţ care poate fi considerat ca un caz particular d

* w * * *

principiului general al conservării energiei, principiu a cărui descoperire în întreaga lui generalitate era rezervată secolului al XIX-lea.

În 1653, în vârstă de 30 de ani, Pascal se află acea perioadă a vieţii sale care a fost denumită „perioada mondenă", deşi este foarte probabil ca această „mondenitate" să nu fi fost decât relativă. Are ca prieten pe cavalerul de Mere, un bărbat inteligent, dar destul de uşuratic, foarte preocupat de problemele pe care le pun jocurile de noroc, cărora li se deda excesiv. El semnalează atenţiei lui Pascal unele din aceste probleme. Şi iată-l pe acest mare spirit, care, angajându-se pe o cale cu totul nouă, pune bazele calculului probabilităţilor, această mare disciplină matematică pe care o vor dezvolta ulterior l-

Iuygens, Bernouilli şi, mai târziu, Laplace şi Henri Poincaré. Pascal nu a publicat nimic referitor la calculul probabilităţilor, dar a studiat problemele pe care i le pusese Mere şi le-a dat soluţii în scrisorile adresate prietenului său Fermat. Fără îndoială că studiul acestei „geometrii a norocului", cum se spunea atunci, l-a condus pe Pascal să scrie în 1654 Trăite du triangle arithmétique în care, introducând un tablou al numerelor de formă triunghiulară, arată diferite proprietăţi mai mult sau mai puţin ascunse ale acestora, deducând de aici formule care au rămas fundamentale în algebră şi în calculul probabilităţilor. Alte mici tratate, scrise fără îndoială cam în

7

aceeaşi epocă, dar publicate mai târziu, conţin o întreagă serie de foarte remarcabile rezultate de aritmetică, de algebră şi de analiză.

„O >

Anul 1654 este un an de reorientare în vial a lui

Pascal. El este încă foarte tânăr, are doar 31 de ani, dar a realizat în câţiva ani o operă ştiinţifică de o originalitate şi de o importanţă extraordinare, lucru cu atât mai remarcabil cu cât avea o sănătate şubredă şi era încercat mereu de diverse dureri.

În acest an a suferit un fel de criză interioară şi, i /

În urma faimoasei „nopţi de foc" din 19 decembrie 165 t, preocupările de ordin metafizic", religios şi mistic ocupil în mintea lui primul loc. În dec u rsul celor opt ani pe care îi mai avea de trăit până la i0 august 1662, va fi aproape exclusiv omul de] a Port-Royal, autorul Provincialelor şi Cugetărilor. Pare a se îndepărta de cercetările ştiinţifice, care până atunci ocupaseră în viaţa sa un loc atât de mare. Totuşi, nu le părăseşte cu totul şi continuă în special să core's pondeze cu savanţi prieteni asupra probleme lor calculului probabilităţilor. Şi deodată, în 1658, ţâşnesc ca o jerbă finală a focului de artificii al gândirii ştiinţifice pascaliene cercetările asupra ruletei. Pe atunci „ruletă" se numea curba pe care astăzi o numim

„cicloidă”: este curba descrisă de un punct al obezii unei roţi care se învârteşte fă Ta alunecare pe un plan orizontal. Se spune că, în urma unor dureri de dinţi de la care căuta să se distragă, Pascal îşi pune o întreagă serie de probleme privitor la această curbă şi deschide un concurs public pentru a vedea cine va şti să le rezolve. Acei care se hazardează să răsprindă întrebărilor puse de Pascal eşuează toţi, mai mult sau mai puţin, dar el le dă soluţia şi în tratatul său despre ruletă, ultima străful gerare a ge niului său ştiinţific, întrebuinţează pentru aceasta metode preluate din teoria indivizibilelor a lui Cava-Eeri şi, prin profunzimea vederilor pe care le dezvoltă, merită a fi considerat ca unul dintre marii

1* * 1 w A A 1

precursori ai analizei infinitezimale, căreia în curând, pe căi diferite, Leibniz şi Newton îi vor pune bazele defini tive.

După această privire generală asupra operei ştiinţifico a lui Blaise Pasca], aş vrea să prezint acum câteva observaţii cu privire la această operă atât de strălucită şi de variată.

T r. În u le să sublinie m, în primu’ 1 rând, că Pascal a deschis gândirii ştiinţifice căi în întregime noi în multiple direcţii. În geometrie, rămânând pe linia g ometriei grecilor şi fără a se asocia procedeelor analitice ale lui Dscartes, a folosit metode directe, care au condus la toate dezvoltările moderne ale geometrici proiective. El a fost primul care a concep u t şi realiz a t o maşină aritmetică, prototip al a celor maşini de calculat a căror u tilizare a constituit în ultimii ani pentru cercetările’s dint ei contemporane un auxiliar de o putere nemaiauzită. În fiz i că, Pascal a aşezat pe baze solide întreaga hidrostatică, adică ştiinţa echilibrului fluidelor, şi a demonstr a t, în ad în abile experienţe, care este adevăr aţa cauză a fenomenelor barometrice. În experienţele pe care le-a efectuat el însuşi şi în acelea de la Puy de Dôme, pe care le-a condus de la distanţă, s-a arătat ca adevăratul fondator al metodei experimentale moderne. Într-o cu totul

a 11 a di rec ţie, a fost cel dintâi care a între vă z ti t prin – cipiile fundamentale ale calculului pe o b abil ită ţ 11 or, calcul care formează astăzi una din ramurile cele mai i în portante ale şi t i înţei, cu aplicaţii nenumărat e. În sfârşit, în studiile sale asupra cicloidei, el a ştiut, p rimul, să arate, într-un caz par t i cular, puterea metodei care avea să devină în curând analiza infinitezimală. El completa astfel preţioasele contribuţii pe care le adusese de a aritmeticii, algebrei şi analizei.

Opera ştiinţifică a lui Pascal este, aşadar, admirabilă din toate punctele de vedere: i s-au putut, totuşi, adresa unele critici. Pascal a abordat şi i / re z olvat în mod magistral n urner o a se p robleine importante: a lăsat astfel amprenta geniului său asupra mai multor ramuri ale ştiinţei, dar niciodată n-a perseverat în niciuna din ele. Dacă nr. putem e xp r im a astfel, în grădina şti în ţ ei a zbura!

„Din floare în floare”. Cauzele sunt uşor de înţeles. i f

În primul rând, avea o constituţie fizică slabă şi L o 1 n-a vi cio a sa, fiind mereu încercat de diverse crize, ceea ce nu-i permite un efort perseverent. Apoi, însuşi geniul său avea, ca o a doua faţetă, o curiozitate universală, o permanentă nelinişte în faţa necunoscutulu i, ceea ce îl an trena necontenit în dire e ţi i noi. De aceea a şi-a lăsat toate operele oarecum neterminate: geometria proiectivă, al cărei presentiment îl avusese, nu a fost constituită decât la un secol şi jum a t a te d îi p a moartea sa; dacă a pus pe baze solide hidrosta tic a, le-a lăsat al Lora grija de a face studiul mai general al mişcării fluidelor; J ci că a fost părintele calculului probabilităţilor, le-a lăsat, de asemenea, altora sarcina de a constit u i din el un corp de doctrină coerent; în sfârşit, dacă a sesizat în o d genial unele din concepţiile calculului infinitezimal, Newton şi Leibniz au fost

9

cei cărora le-a p ard ne gloria de a fi făcut din el o nouă ramură principală a ştiinţei matematice. Şi de altfel, aşa cum foarte bine a remarcat Pierre

9

Humbert, nu trebuie să-i judecăm pe oamenii de ştiinţă ai secolului al XVII-lea după aceleaşi norme ca pe savanţii de astăzi. Aceştia din urmă, în general p rofe sori sau cercetători, sunt aproape toţi „profesionişti”, de la care este firesc să ne aşteptăm să se consacre elaborării continue şi completării operei lor: savanţii contemporani cu Pascal erau dimpotrivă, aproape toţi „amatori”, având profesi şi o cu paţii variate, care, din când în când, cu ina mult sau mai puţin succes, studiau problemele care adeseori din întâmplare, le atrăgeau curiozitatea Blaise Pascal a fost şi el un amator în materie de ştiinţă, un amator de geniu, şi nu-i putem reproşa de a nu fi aparţinut timpului său.

Aş mai vrea să insist asupra unui alt aspect al personalităţii atât de comple xe şi b o ga te-a lui Pascal. El, care în domeniul filosofiei şi al metafizicii

„9

a fost un gânditor atât de profund, el, care în ştiinţă a fost un te oretician atât de mare, a ştiut oca-l *9

zional să arate că era capabil să se intereseze de probleme foarte concrete şi să rezolve che’s tiu ni esenţialmente practice. Este inexact, fără îndoială, că ar fi inventat roaba, care exista înaintea lui, şi poate că este îndoielnic că, având, din motive de e o mod tate, ideea de a-şi le ga ceasul la mână, ar fi fost, ceea ce ar fi, într-adevăr, foarte curios, inventatorul ceasuluibrăţară. Este însă cert, aşa cum am văzut, că el a contribuit personal, cu o mare îndemânare tehnică, la realizarea maşinii aritmetice şi că a montat cu un talent incontesta

9

bil de experimentator, în ciuda insuficienţei mijloacelor de care dispunea, celebrele sale experienţe asupra p resiun i i aerului. Şi nu est e oare el cel e are, în nllimela luni ale vieţii sale, a avut ideea de a organiza la Paris un serviciu de vehicule publice, trăsurile de cinci bani, care, pentru un preţ în o clic, puteau tran se or t a răpi d pe cetăţe ni de la un punct la altul al capitalei?

Această creaţie, care îi este d a I orată lui, a f u neţionat după moartea sa un oarecare număr de ani. Ulterior, trăsurile de cinci bani au dispărut şi abia după mai bine de un secol, în timpul Restauraţiei, au reapărut acele trăsuri cu cai, publice şi cu plată, pe care cei mai vârstnici dintre noi le-au mai văzut circulând la Paris sub denumirea de omnibuze. Nu este oare, într-adevăr, curios că Blaise Pascal, autorul Cugetărilor, să fie acela care a fost în Franţa priinul promotor al transportului în comun?

Aş vrea să termin printr-o ultimă remarcă. În domeniul filozofic şi literar, cartea care a făcut

9 /

Îndeosebi nemuritor numele lui Blaise Pascal este Cugetările. Dar această operă, atât de emoţionantă, atât de unică în genul ei în literatura mondială, ar fi scris-o oare Pascal în acelaşi fel dacă n-ar fi avut în urma sa un întreg trecut de om de ştiinţă? Printre frazele dense, uneori de o construcţie gramaticală stranie, ale Cugetărilor, vedem adesea ţâşnind ca nişte fulgere scânteietoare imagini impresionante cărora numai creierul unui om de ştiinţă genial le putea da naştere. Când Pascal exclamă: „Tăcerea eternă a acestor spaţii infinite mă înspăimântă” i, n a-l simţim oare pe omul care cunoaşte recentele cuceriri ale astronomiei timpului său şi care, în urma lui Kepler şi Galilei, vede cu spaimă deschizându-se în faţa sa insondabilele profunzimi ale cerurilor? În celebrul pasaj despre arahnidă, care începe cu cuvintele: „Ce în se am nă un om în infinit?...”[31], Pascal nu este oare fizicianul care presimte infinita complicaţie a structurilor celor mai fine ale universuri fizic şi care simte deja cu neliniște Spiritul său şovăind în pragul universului atomic? Şi atunci când scrie: „Distanţa infinită de la corpuri la spirite simbolizează oare distanţa infinit mai infini tă de la spirite la caritate”, nu recunoaştem noi oare pe matematicianul care, printre primii, a reflectat profund asupra ordinelor respective de infinitudine a diverselor mărimi? În sfârşit, celebrul argument al pariului, asupra

31 Blaise Pascal, op. cit., p. 6.

căruia s-a discutat atât, nu s-a prezentat oare, în mod firesc, minţii aceluia care a fost primul promotor al calculului probabilităţilor? S-ar putea înmulţi exemplele de acest fel. Da, într-adevăr, în splendida ei bizarerie, cartea sa Cugetările nu putea fi decât opera unui genial om de ştiinţă.

Doamnelor, domnilor.

La trei secole de la moartea lui Blaise Pascal, după atâtea studii consacrate personalităţii şi operei sale, nu am terminat încă cu inventarul şi analiza tuturor scăpărărilor orbitoare pe care le-au proiectat nenumăratele faţete ale acestei luminoase inteligenţe, ale acestui spirit prodigios, ale acestui „geniu înspăimântător, cum a spus Chateaubriandl.

GALILEI ŞI ZORILE ŞTIINŢEI MODERNE[32]

La 15 februarie 1564, cu trei zile înaintea morţii lui Michelangelo, se năştea la Pisa Galileo Galilei, considerat, pe bună dreptate, ca unul dintre principalii reprezentanţi ai marii revoluţii intelectuale, ultimul rod al Renaşterii, din care avea să pornească întreaga ştiinţă modernă. Patru secole s-au scurs de atunci şi, cu toate că ne este foarte greu să ne transpunem în starea de spirit a oamenilor de ştiinţă din acea vreme, nu ne putem reprezenta, fără emoţie, ce efort intelectual şi ce forţă sufle

9 I 9

tească i-au trebuit lui Galilei şi emulilor săi pentru a smulge din mintea lor prejudecăţi seculare şi pentru a opera sfâşietoarea revizuire a concepţiilor tradiţionale, revizuire care, singura, putea să le pefmită să vadă natura cu ochi noi.

Galilei era fiul unui gentilom florentin nu prea bogat, om instruit, care, ca matematician şi umanist în orele sale de răgaz, scrisese o lucrare bine apreciată de istorie a muzicii. Tânărul Galilei şi-a făcut studiile la Pisa: foarte inteligent şi munci lor meticulos, a fost curând remarcat de profesorii săi, ale căror opinii, bazate încă în genere pe învăţăturile scolasticii şi pe autoritatea lui Aristotel, nu le

32 Conferinţă ţinută la Palatul Descoperirilor, la 24 octombrie 19G'.

împărtăşea întotdeauna. Îl interesau mult ştiinţele şi în niod deosebit mecanica şi aplicaţiile ei. La această perioadă a vieţii sale petrecută la Pisa se referă două anecdote citate adeseori, a căror exactitate este foarte îndoielnică, dar care au avantajul de a evoca pentru noi unele monumente frumoase din oraşul unde locuia. Se spune că în celebrul Dom din Pisa, Galilei, observând oscilaţia unei lămpi suspendate de boltă, ar fi avut ideea că mişcarea unui pendul este izocronă. Lăsând să cadă obiecte de natură diferită de la ultimul etaj al faimosului turn înclinat, el ar fi verificat că, sub acţiunea gravităţii, toate corpurile cad în acelaşi fel. Evident – repet – aceste anecdote sunt probabil lipsite de bază istorică, dar sunt atât de pitoreşti, încât e plăcut să li se perpetueze amintirea.

Galilei, care studiase cu atenţie operele marilor savanţi ai antichităţii, şi în special ale lui Euclid şi Arhimede, dobândise de timpuriu o mare notorie

t a

tate ca matematician în cercurile ştiinţifice din Pisa, până-ntr-atât, încât în 1589, la vârsta de 25 de ani, era profesor de matematică la universitatea din oraşul său natal. Şi în lecţiile sale de mecanică introducea deja idei noi, puţin conforme cu acelea ale lui Aristotel, şi reacţiona împotriva metodelor de raţionament prea verbale ale scolasticii.

Lăsând pentru ceva mai târziu analiza operei lui Galilei, vom continua să-i urmărim cariera. În 1592, poate fiindcă opoziţia sa faţă de ideile tradiţionale îi produsese la Pisa unele dificultăţi, a părăsit catedra de matematică spre a ocupa la Padova o catedră analogă. La Padova îşi continuă lucrările de mecanică, studiază magneţii şi începe să se intereseze de lunete şi de folosirea lor în astronomic. În 1609, un nou duce de Toscana, care fusese ele vul său, îl recheamă la Pisa şi îl face în

e tr-un fel consilierul său ştiinţific la Florenţa. De aici, se duce ades e or i la… Roma şi devine membru al Academiei clei Lincei. În această perioadă inventează

luneta care îi poartă numele şi îşi dezvoltă observaţiile astronomice. Tot în acea vreme, aban

— 7

donând din ce în ce mai mult concepţiile tradiţionale ale şcolii, aderă deschis la ideile lui Copernic şi, începând a considera Pământul ca imobil în centrul universului, el admite că acesta descrie o orbită în jurul Soarelui şi că se învârteşte în jurul axei polilor săi. Asupra acestui din urmă pune t însă, este nevoit curând să se arate prudent, deoarece în 1615, sub pontificatul lui Paul V, inchiziţia romană condamnă ipotezele copernicience şi declară eretici pe cei care le propagă. Pierzându-l pe protectorul său florentin, care murise de curând, Galilei consideră oportun să nu se mai ducă la Roma şi se retrage într-o mică vilă la Arcetri, în împrejurimile Florenţei. Aici, în tăcere şi refugiu, el îşi va continua timp de cincisprezece ani meditaţiile şi cercetările în mecanică şi astronomie.

Din acel moment, şi acest lucru este destul de simptomatic, Galilei, poate pentru a avea o mai largă audienţă în propria-i ţară, renunţă să mai

A 1, W f M A W e A

scrie în latină, cum făcuse până atunci, şi începe să-şi redacteze cărţile în limba italiană. A depăşit acum vârsta de şaizeci de ani, a reflectat mult asu

W A J 1 w prea mecanicii şi astronomiei şi fără îndoială ar vrea să pună la punct şi să facă cunoscute ideile

A

foarte noi care s-au impus treptat spiritului său. Este foarte probabil ca momentul să-i fi părut propice pentru a le da publicităţii fără a se expune prea mult fulgerelor inchiziţiei romane. Avusese, într-adevăr, multă vreme ca amic şi admirator pe cardinalul Barberini şi acesta urcase de curând pe tronul pontifical sub numele de Urban al VIII-lea. Fapt este că în 1632 Galilei se decide şi publică celebrul său Dialog asupra celor două sisteme ale lumii, cel al lui Ptolemeu şi cel al lui Copernic. În această lucrare, desemnată în general sub numele de Dialogo,

primul cuvânt din titlul ei italian, el rezumă sub forma unei convorbiri între trei p ” rsonaje: Salviati, care este Galilei însuşi, Sagredo, care este un prieten cu mintea deschisă, şi Simplicio, care, încăpăţânat şi pedant, simbolizează scolastica şi aristotelismul. Va trebui, în cele ce urmează, să mai vorbim despre această lucrare capitală, plină de admirabile intuiţii, însoţite de unele grave erori: de peste trei secole, eruditii n-au încetat să-i studieze şi să-i comenteze aproape toate frazele. O asemenea expunere, în care tezele coperniciene erau reafirmate cu vigoare, nu putea

W 1. W 1, W 1

să nu nelimsteasca inchiziţia romană şi, din nenof f

rocire, din motive obscure, papa Urban al VIII-lea pare să cam fi uitat prieteniile cardinalului Barberini, aşa încât în 1633 Galilei este silit să compara în faţa tribunalului inchizitorilor care pronnnpi

A, 1 w Al 1 1* w împotriva sa o condamnare severă şi îl obliga să-şi renege public doctrinele cu privire la mişcarea Pământului. Bătrân şi bolnav, Galilei se supune şi, poate graţie intervenţiei papei, nu are de suferit decât o captivitate destul de scurtă, mai întâi la Roma, apoi la Florenţa, înainte de a fi autorizat să-şi reia vechea sa reşedinţa de la Arcctri unde trebuie să locuiască supus în permanenţă unei supravegheri destul de stricte. Aici, în singurătatea a tenuata doar de devotamentul câtorva elevi, doborât de vârsta şi de infirmitaţi (devine orb în 1637), el continuă să lucreze cu îndârjire şi măreţ exemplu al unui bătrân care, sub loviturile vârstei, îşi păstrează întreaga sa luciditate de gândire – publică în 1638 o nouă punere la punct a ideilor sale asupra mecanicii, sub titlul de Discursuri şi demonstraţii matematice relative la două ştiinţe noi. Această lucrare remarcabila, cunoscuta sub numele prescurtat de Discorsi, arată, atunci când e comparată cu Dialogo, cât de mult progresaseră în câţiva ani concepţiile sale, aducându-l în pragul a ceea ce avea să devină, datorită lui Descartes, lui Huygens şi mai ales lui Newton, mecanica clasică. Galilei a murit la Arcetri în

1642, în vârstă de 78 de ani.

*

*

Ne vom îndrepta acum atenţia spre opera ştiinţifică a lui Galilei pentru a arăta întreaga ei valoare şi admirabila originalitate. Aceasta operă poate fi împărţită în două parţi bine distincte: lucrările sale de mecanică, pe care le-a desfăşurat realizând progrese permanente în tot cursul vieţii sale, şi lucrările privind instrumentele optice şi utilizarea lor pentru observaţiile astronomice. Cu toate că cercetările lui Galilei referitoare la mecanica sunt, incontestabil, partea cea mai importantă a operei sale în ceea ce priveşte istoria gândirii ştiini fiice, voi începe expunerea de faţa cu studiile sale asupra lunetelor's i-a întrebuinţării lor în astronomie. Într-adevăr, aceste studii formează în opera lui Galilei un ansamblu bine definit şi nu l-au preocupat decât o perioadă destul de scurta din viaţa sa, vreo cincisprezece ani cu începere cam din 1610. Ne va fi uşor să luăm rapid cunoştinţa de ele, pe când examinarea descoperirilor lui Galilei în mecanica şi a evoluţiei gândirii sale în acest domeniu dificil va cere dezvoltări mai ample.

Galilei nu a fost inventatorul nici al lentilelor, nici al lunetelor de apropiere, nici al microscopului (nici măcar, într-un alt domeniu, al termometrului, aşa cum s-a susţinut uneori). Proprietăţile lentilelor erau cunoscute de foarte multă vreme: chiar în antichitate se avea, fără îndoială, o oarecare idee despre ele, iar de la sfârşitul Evului mediu oamenii se serveau în mod curent de ele pentru corectarea prezbitismului şi a miopiei. Cât despre combinaţiile de lentile care furnizează lunete de apropiere sau microscoape, se pare că ele ar fi fost descoperite în Olanda încă din primii ani ai secolului al XVII-lea: în legătura cu aceasta, se pun probleme spinoase de prioritate, pe care le voi lasa în grija erudiţilor să le discute. Ceea ce este cert, e că în jurul anului 1610 Galilei a avut cunoştinţă de fabricaţiile de lunete efectuate în Olanda şi că a avut ideea foarte simplă, dar genială la acea epocă, de a le folosi

pentru observarea astrelor. A fost o zi decisiva în istoria astronomiei aceea când Galilei a observat în luneta sa tot felul de detalii complet ignorate până atunci de astronomi şi pe care o mărire chiar foarte modestă (de douăzeci până la treizeci de ori) îi permitea să le vadă distinct. Dar, înainte de a enumera descoperirile pe care le-a făcut astfel şi care au părut contemporanilor săi atât de extraordinare, trebuie să amintesc că, dacă Galilei nu a inventat lunetele.

1

* * * 1 A *

puţin a inventat şi a construit el însuşi un nou tip de lunetă care-i poartă încă numele: luneta lui Galilei are ca obiectiv o lentilă convergentă, ca ocular o lentilă divergentă, dă o imagine dreaptă, adică nu răsturnată, a unui obiect îndepărtat, iar descrierea şi studiul ei pot fi găsite şi astăzi în toate tratatele despre instrumentele optice.

Şi acum, ce a văzut oare Galilei observând astrele prin lunetele sale? El a văzut pe suprafaţa Lunii munţi a căror înălţime a putut-o măsura aproximativ. A văzut pe Soare pete având o formă şi o distribuţie variabile. A observat patru din cei doisprezece sateliţi ai lui Jupiter, învârtindu-se în jurul acestei planete (ceilalţi opt sunt prea mici pentru a-i fi putut vedea prin luneta sa). A observat fazele planetelor Venus şi Marte, precum şi variaţiile diametrului aparent al acestui din urmă astru. A văzut cu surprindere planeta Saturn sub forma unui glob purtând lateral un fel de toarte de formă variabilă, a căror natură nu a reuşit să şi-o explice: a trebuit să se aştepte încă mulţi ani pentru ca aceste aparenţe stranii să fie corect interpretate de Huygens, atunci când acesta a identificat celebrul „inel al lui Saturn”. Depăşind limitele sistemului solar, Galilei şi-a dat seama că Calea lactee este alcătuită dintr-o puzderie de stele. Toate descoperir de sale, pe atunci atât de surprinzătoare, savantul italian le-a făcut cunoscute într-o serie de p publicaţii, dintre care prima a fost, începând din 1614, Nuntius Sidereus.

Ne putem astăzi închipui stupoarea contemporanilor

lui Galilei când au luat cunoştinţă de revela’ fţiile pe care le aducea oamenilor simpla explorare a cerului cu ajutorul unei modeste lunete; până atunci astrele erau considerate ca existenţe perfecte şi imuabile, ţinte de aur detaşându-se pe bolta cerească. Şi iată că ele apăreau deodată ca afectate de imperfecţiuni şi de variaţii, supuse unor evoluţii asemănătoare cu acelea ale obiectelor terestre. Se spune că unii refuzau să privească prin lunetele lui Galilei, neputându-se decide să abandoneze ideile tradiţionale despre imutabilitatea cerurilor.

E cert că aceste remarcabile descoperiri cereşti l-au condus pe Galilei să reflecteze profund asupra sistemului universului şi să adere din ce în ce mai hotărât la ideile lui Copernic privind mişcările Pământului în jurul Soarelui şi în jurul axei sale. Dacă Jupiter este înconjurat de sateliţi care se învârtesc în jurul lui, nu trebuie oare să credem că planetele înseşi se învârtesc în jurul acelui astru care le luminează pe toate şi care este Soarele? Putem oare admite că toate stelele se învârtesc în douăzeci şi patru de ore în jurul Pământului cu viteze care, din cauza depărtării lor, ar trebui să fie vertiginoase? Pornind de la observaţiile sale astronomice, Galilei a luat poziţie pe faţă pentru sistemul universului al lui Copernic. Aceasta explică prima lui condamnare, în 1616, apoi, când a avut îndrăzneala să-şi i susţină şi mai deschis ideile

9 9

În Dialogo, severa condamnare personală care îl loveşte în 1633. Dar, în ciuda aparentei sale retractări, a păstrat în gând toată viaţa – chiar dacă, fără îndoială, n-a pronunţat-o deschis – celebra frază: „E pur şi muope” („Şi totuşi (Pământul) se mişcăc).

Observat iile astronomice ale lui Galilei au avut o importanţă capitală. Astăzi ele ne apar ca fiind destul de restrânse şi de la sine înţelese. Dar ele

9

au fost acelea care au declanşat toate progresele ulterioare ale astronomiei. Inspirându-se de la ele, toţi curioşii cerului explorează, cu ajutorul unor instrumente

din ce în ce mai perfecţionate, adânciinile universului. Lunetele mari, telescoapele uriaşe, dispozitivele de telescopie electronică ale compatriotului nostru André Lallemand nu sunt în fond decât prelungirile gestu lui pe care l-a făcut Galilei în 1610, când a îndreptat către obiectele ce re şti modest a sa l unetă. Din acest punct de vedere, Galilei poate fi considerat promotorul întregii astronomii moderne.

Dar oricare ar fi un port a n ţ a capitală a observaţiilor astronomice ale lui Galilei, din punctul de vedere al ideilor ştiinţifice generale opera sa în mecanică a fost cea mai esenţială. Pentru a putea

„I*

aprecia originalitate a şi importanţa ideilor lui Galilei în acest domeniu, este necesar să examinăm care eRau ideile care prevalau atunci când şi-a început el cariera.

Se ştie că în cursul evului mediu, mai ales cu începere din secolul al XIII-lea, învăţăturile mari«

lor reprezentanţi ai scolasticii se sprijineau aproape exclusiv pe ideile filosofice şi ştiinţifice dezvoltate cu mai bine de trei secole înaintea erei noastre de către Aristotel. Aşa stăteau lucrurile în special în privinţa mişcării corpurilor în lumea fizică. Principiile mecanicii lui Aristotel, care astăzi ne par complet false, pentru oamenii antichităţii şi ai evului mediu puteau totuşi să pară că decurg direct din observaţia de fiecare zi. Pe de o parte, ştim toţi că la suprafaţa pământului toate corpurile grele, corpurile grave cum se spun” a altă dată, dacă sunt lăsate în voia lor, tind să cadă vertical w 1 w A 1 w şi avem impresia ca, dacă nimic n-ar împiedica căderea lor, această cădere ar continua ne întrerupt, până când ar atinge centrul pământului. Pe de altă parte, ştim de asemenea că un corp lansat în mod artificial ca o bilă pe o masă de biliard primeşte o mişcare iniţială mai mult sau mai puţin rapidă, dar că această mişcare nu întârzie să se încetinească şi chi ar să se oprească. Ari’s toate l crezuse că expritnă aceste fapte experimentale incontestabile admiţând că există două feluri de mişcări: mişcările

naturale şi mi. Şicările violent e. M i 3 e are a naturală ar fi aceea a unui corp grav, care cade vertical, ea [lr fi o mişcare accelerată şi în principiu ar p u te-a cont în u a până e 1 n l corpul ar a t ingo ce n t nu l pământului. Aristotel spunea că un corp grav tinde către „locul natural" al său, loc care este centrul pământului. Cu totul di f e îi t a ar fi mişcarea violentă: ea ar fi comuni câtă unu 1 corp se către un „moţ or", însă vi teza astfel dolândi la de corp nu s-ar putea menţine decât dacă ar fi permanent întreţinută de o anumită acţiune exterioară. Ari's tu te l credea că

9

d ci că corpul proiectat păstr cază un anumit timp mişcarea sa violentă, este fiindcă primeşte de la aerul înconjurător un an u ni i t im puls care îi menţine o anumită viteză. S-ar fi putut obiecta că în acest caz nicio mişcare violentă n-ar putea avea loc în vid; dar Aristotel, care nu credea în existenţa

— 1 1 I1 „w w A 1 1 w w, w A

vidului, ar fi răspuns fără îndoială că există întotdeauna în jurul unui mobil un mediu o are care susceptibil de a-i întreţine mişcarea. De altfel, în dinamica aristotelică această întreţinere nu durează niciodată la infinit şi mişcarea violentă sfârşeşte întotdeauna prin a să o p îi. Timp de mai multe secole, scolastica a încercat să interpreteze toate fenomenele mecanice pe aceste baze. În această încercare, ea se lovea în permanenţă de mari dificultăţi, chiar în cazul unui proiectil lansat vertical în sus sau oblic în câmpul de gravitaţie, căci deja, în acest caz's impl u, trebuia evident să se combine o în is e are naturală cu una violentă. Mulţumindu-se

cu explicaţii verbale şi nerecurgând niciodată la controlul prin experienţă, mecanica scolastică nu făcuse niciun progres real.

Dar cum istoricii ştiinţelor şi-au dat seama treptat de acest lucru, şi mai ales în urma celebrelor t lucrări ale lui Pierre Duhem, spre sfârşitul evului mediu, la Universitatea din Paris, mai ales, se produsese o oarecare re ac ţie împotriva doctrinelor lui Ari st o t el şi a manierei sale de a

co ns idera i natura mişcărilor. Încă din secolul al XIV-lea.
9
Jean Buridan, care a fost rectorul Universităţii
9
din Paris în 1327 şi care nu este numai autorul ce
9
lebrei fabule în e are vedem un măgar, victima nehotărârii sale, murind de foame între două legături de fin, a avut îndrăzneala să introducă în mecanică o idee cu totul diferită de aceea a lui Aristotel.

Pentru el, atunci când un motor comunică o mişi care unui corp, îi furnizează ceva care rămâne legat de corp şi îi întreţine viteza: acest ceva, Buridan îl desemnează prin cuvântul latin impetus. Dacă n-ar mai fi deci mediul exterior care ar întrelinr viteza corpului, această viteză ar avea tendinţa de a se menţine fiindcă ar rezulta de pe urma a ceva ce motorul a cedat corpului. Aceasta este valabil în cazul mişcărilor violente: pentru mişcările naturale Buridan crede că greutatea este aceea care comunică permanent corpului grav în cădere liberă un impetus care creşte, ceea ce i se pare că explică faptul că mişcarea naturală este accelerată. Doctrina impetus-ului, adăugând corpului o mărime ce depinde de starea lui de mişcare şi pe care corpul o transportă cu sine, a marcat un pas foarte important pe calea care trebuia să ducă la mecanica clasică: impetus-ul rămânea, desigur, o noţiune destul de vag definită, dar era mai aproape de mecanica noastră modernă decât de aceea a lui Aristotel, ea era, evident, înrudită cu mărimile pe care le numim astăzi energie şi cantitate de mişcare.

A, *

În momentul Renaşterii, dinamica lui Aristotel şi teoria impetus-ului fuseseră predate concomitent, fără ca de aici să rezulte vreun progres decisiv. S-a încercat chiar conciliere a lor, presupunându-se că impetus-ul este comunicat mobilului nu de către motor, ci de către mediul înconjurător. O teorie hibridă de acest gen preda la Pisa filosoful Bonamico pe vremea când Galilei era unul din

elevii săi. Încă din prima sa tinereţe Galilei se interesează de mecanică şi există o lucrare a sa intitulată de Mofu, scrisă la 25 de ani, cam prin 1590. Deşi destul de reticent faţă de doctrinele lui Aristotel.

9 7

el rămâne încă foarte impregnat de învăţăturile scolastice: admite noţiunea de impetus, dar admite, de asemenea, ca şi discipolii lui Buridan, că într-o mişcare violentă impetus-ul se împrăştie de la sine. În această carte din tinereţe, în care autorul utilizează permanent procedeele de raţionament specioase ale scolasticii, nimic nu prevesteşte deocamdată că el va fi marele înnoitor al mecanicii.

Nu se cunoaşte foarte exact cum au evoluat concepţiile lui Galilei în cursul celor şaptesprezece ani pe care i-a petrecut la Universitatea din Padova. Fără îndoială el ştia deja că, după cum reiese din de Molu, căderea unui corp într-un mediu material omogen depinde de densitatea relativă a corpului în raport cu mediul. Şi dacă este cumva ceva adevărat în anecdotele legendare relative la Dom şi la turnul înclinat din Pisa, el poseda deja unele cunoştinţe precise despre legea căderii corpurilor grave şi recunoscuse izocronismul oscilaţiilor unui pendul, fără să-şi dea seama de faptul, semnalat mult mai târziu de Huygens, că acest izocronisin nu e valabil decât pentru oscilaţiile mici. Ceea ce este însă sigur, e că, într-o scrisoare adresată lui Sarpi la 1G octombrie 1604, Galilei anunţă că a verificat experimental rezultatul următor: în căderea unui corp grav, spaţiile parcurse în intervale de timp egale şi succesive, por JJ.ind de la punctul de plecare, sunt proporţionale cu succesiunea numerelor impare. Aceasta înseamnă că spaţiile parcurse sunt proporţionale cu pătratul timpilor, ceea ce noi exprimăm astăzi prin formula z = – gt2, variabila z fiind socotită

2

după verticala descendentă. Galilei descoperise astfel o importantă lege a dinamicii căderii corpurilor: din nefericire, el credea de asemenea că poate să afirme că

viteza corpului este în fiecare moment proporţională cu spaţiul parcurs, pe când în realitate ea e proporţională cu durata de cădere şi.

* * * 1 w prin raţionamente geometrice inexacte, el se străduia să demonstreze compatibilitatea acestei ipoteze cu legea exactă a căderii pe care tocmai o descoperise. El a persistat mult timp în această eroare, deoarece o regăsim încă în Dialogo, şi a rectificat-o abia la sfârşitul vieţii în Discorsi, arătând că viteza căderii trebuie să crească asemenea timpului scurs de la începutul ei.

Ideile lui Galilei cu privire la mecanică sunt expuse în lucrări, dintre care principalele sunt un discurs despre hidrostatică, publicat la Florenţa în 1612, şi Dialogo, din 1632, urmat de Discorsi, din 1638, despre care am vorbit deja şi în care ideile autorului sunt prezentate sub forma unei convorbiri între cei trei interlocutori Salviati, Sagre de şi Simplicio. Nu putem urmări aici în amJ.nunt aceste texte, care conţin o mulţime de

9 9

repetiţii, digresiuni şi uneori erori. Esenţialul este de a vedea degajându-se din ele, puţin câte puţin, cu greutate şi cu preţul unei veritabile lupte intelectuale, unele dintre principiile care în curând vor servi ca bază mecanicii clasice.

În ce priveşte statica, Galilei a făcut numeroase observaţii în general exacte şi importante, dar care nu erau în întregime noi, căci această ramură a ştiinţei se îmbogăţise deja cu contribuţii decisive datorate savanţilor Renaşterii şi îndeosebi ilustrului olandez Simon Stevin. El a enunţat într-un mod precis principiul general, deja cunoscut, al scolasticilor, care pe atunci era denumit principiul vitezelor virtuale şi pe care astăzi îl numim de preferinţă „principiul lucrului virtual”: el l-a ilustrat cu exemple bine alese, care implică aplicarea legii de compunere a forţelor, a desprins din el noţiunea de moment al unei forţe, noţiune care a subzistat fără schimbare până în zilele noastre şi care pare să fi avut, sub o formă puţin cam confuza, noţiunea de centru de

greutate. Întrucât studiase mult, încă din tinereţe, operele lui Arhimede, a dezvoltat într-un mod corect principiile hidrostaticii şi a dat exemple pregnante ale aplicaţiilor lor.

Dar dacă marile legi ale staticii erau deja bine cunoscute înainte de Galilei, nu tot aşa era, precum am văzut, cu legile dinamicii. Îndepărtându-se tot mai mult de ideile lui Aristotel, el a folosit destul de frecvent noţiunea de Impeto care este traducerea aproximativa în italiana a impetusului lui Buridan, noţiune pe care el nu reuşeşte s-o definească într-o manieră destul de precisă şi care pare adeseori să se confunde cu aceea de viteză. Uneori i se întâmplă chiar să întrevadă, într-un fel încă prea puţin clar, marea lege a dinamicii clasice, aceea pe care, o jumătate de secol mai târziu.

Newton avea s-o enunţe sub forma atât de cunoscută: F = my.

Un mare număr din reflecţiile lui Galilei în statică şi în dinamică au avut ca obiect mişcarea pendulului şi aceea a corpurilor pe planuri înclinate. El a observat că un pendul, după mişcarea lui de coborâre, urcă din nou întotdeauna la o înălţime care este aproape egală cu înălţimea iniţială şi a dat despre aceasta exemple instructive şi amuzante: el a sesizat bine importanţa acestui fapt, pe care îl interpretăm astăzi aplicând principiul conservării energiei şi remarcând că energia potenţială a unui pendul în câmp gravitaţional este proporţională cu altitudinea lui.

Asupra mişcării unui corp greu pe un plan înclinat, Galilei a făcut cu multă pătrundere observaţii, sprijinite, desigur, pe experienţe, care aveau o mare importanţă pentru mecanica acelei epoci. Lăsând să alunece bile pe planuri înclinate, ale căror înclinări faţă de orizontală erau diferite, el a constatat că acceleraţia corpului scade odată cu înclinarea şi, printr-o intuiţie genială, a ajuns la concluzia că în mişcarea unei bile pe un plan orizontal viteza trebuie să rămână constantă la infinit. El obţinea astfel un prim enunţ al principiului inerţiei pe care se bazează întreaga mecanică modernă. De aceea majoritatea

autorilor l-au considerat şi îl consideră pe Galilei ca părintele mecanicii moderne. Totuşi, această opinie nu este unanim acceptată. Eminentul istoric al ştiinţelor Al. Koyre a emis în remarcabilele sale Études galileennes îndoieli în această privinţă. El a observat că Galilei n-a putut niciodată să se desprindă complet de conce: priile scolasticii în care fusese format în tinereţe. În special, n-a putut să conceapă niciodată un corp care să nu fie supus câmpului gravitaţional: el s-a simţit încurcat de faptul că un corp care alunecă pe un plan orizontal tangent la sfera terestră este peste tot, în afara punctului de tangenţă, supus unei componente orizontale a gravitaţiei şi pare a fi fost înclinat să conchidă că un astfel de corp n-ar putea avea o viteză constantă decât dacă ar rula pe o sferă având centrul în centrul pământului, concepţie care, evident, altera adevărata natură a principiului inerţiei. După l (oyre, Descartes ar fi fost cel care, primul, a enun

1. * * A, w 1 „1 * *

tat principiul inerţiei în toată generalitatea lui şi dacă a putut-o face a fost fiindcă spiritul său rigid şi abstract îi permisese ca, eliberându-se de toate concepţiile scolastice, să ajungă să conceapă un corp în întregime izolat în univers şi, ca urmare, sustras gravitaţiei, înconjurat de un spaţiu cu adevărat „vid", adică lipsit de orice proprietate fizică. Pare cert că era nevoie, într-adevăr, să se ridice la acest grad de abstracţie pentru a putea să enunţe principiul inerţiei în toată generalitatea lui. Menţionăm totuşi, în treacăt, că această viziune abstractă nu ni se pare astăzi să poată corespunde riguros realităţii fizice, deoarece, pe de o parte, teoria relativităţii generale a lui Einstein nu pare deloc compatibilă cu imaginea unui corp în întregime izolat în univers şi lipsit de orice proprietate gravifică, iar, pe de altă parte, dezvoltarea fizicii cuantice ne determină tot mai mult să credem că ceea ce numim vid este în realitate întotdeauna sediul unor proprietăţi fizice mai mult sau mai puţin ascunse. Mi se pare că dacă Galilei n-a reuşit, fără îndoială, să enunţe principiul inerţiei sub forma lui precisă şi abstractă, el a trecut însă atât de

aproape de acesta, încât e just să-i lăsăm onoarea acestei descoperiri decisive.

Predecesorii lui Galilei îşi făcuseră o idee destul i de curios falsă despre mişcarea unui proiectil în câmpul de gravitaţie. Ei presupuneau că, ieşind din tun cu o mişcare „violentă" şi un mare impetus, proiectilul descria mai întâi o traiectorie rectilin i e, apoi că, impet us-ul lui micşorându-se progresiv, traiectoria lui se curba în jos şi că, în sfârşit, impetus-ul fiind epuizat, proiectilul cădea vertical. Deoarece recunoscuse foarte bine cum trebuia să se facă compunerea forţelor şi a mişcărilor, Galilei a expus în Dialogo cum trebuie, de fapt, calculată mişcarea unui proiectil combinând mişcarea lui orizontală, a cărei viteză este constantă, cu mis

9

Carea verticală, care este accelerată în jos. Profitând de indicaţiile astfel date de Galilei, Fra Bonaventura, care este cunoscut în istoria ştiinţelor sub numele de Cavalieri, a fost primul care a anunţat că traiectoria unui proiectil în câmpul gravitaţional, abstracţie făcând de rezistenţa aerului, trebuie să fie o parabolă. Galilei, care n-ar fi avut de făcut decât un pas în plus pentru a ajunge la această concluzie, a fost dezolat de a se fi lăsat depăşit de colegul său italian.

Atunci când, la sfârşitul vieţii sale, Galilei a recunoscut că viteza de cădere au nu-i corp greu creşte proporţional cu timpul, atenţia sa a fost atrasă de faptul că în cursul momentelor succesive viteza creşte „cu intervale insensibile". El a ajuns astfel la consideraţii foarte apropiate de acelea pe care exact în acelaşi timp le dezvoltase Cavalieri sub numele de „teoria indivizibilelor" şi se şi t le că acest gen de idei a stat la originea naşterii calculului infinitezimal. Nu putem trece sub tăcere nici contribuţiile remarcabile pe care Galilei le-a adus unor probleme de rezistenţă a materi a –lelor şi de flex. iune a grinzilor: el a fost, şi aici, un adevărat precursor.

*

* * *

Ceea ce am spus până acum în această expunere, desigur succintă, ajunge ca să arate cât de admirabile au fost descoperirile lui Galilei în astronomie şi în mecanică. El a rupt vălurile care ascundeau ochilor predecesorilor şi contemporanilor săi aspecte e esenţial e ale realităţii fizice, a deschis fără-ncetare căi noi, făcând astfel posibil progresul rapid al succesorilor săi.

Şi totuşi, acestei atât de frumoase opere i s-au putut adresa unele reproşuri. Este cert că explica – t iile şi demonstraţiile lui Galilei sunt adeseori confuze şi alambicate: forma de dialog pe care le-a dat-o adesea este responsabilă în parte de acest lucru. Nu trebuie să uităm însă cât de precare erau mijloacele de care putea el dispune: ca toţi prede – cesorii săi, şi chiar ca Huygens mai târziu, el întrebuinţează întotdeauna, în toate raţionamentele sale, limbajul geometric: nu are încă la dispoziţia sa supleţea şi precizia analizei infinitezimale. Dacă am fi tentaţi să criticăm şi calitatea observaţiilor şi a experienţelor sale, n-ar trebui să uităm cât de limitat şi defectuos era materialul experimental pe care şi-l putea procura. Cu lunete slabe, abia echivalente cu binoclurile noastre de teatru, el se străduia să scruteze cerurile, şi aceste lunete i-au fost de ajuns pentru a face descoperiri senzaţionale. În experienţele sale asupra căderii corpurilor, se lovea de foarte mari dificultăţi pentru măsurarea timpului. Nedispunând de ceasornice şi de cro no – metre, a căror construcţie numai lucrările lui

7;

Huygens aveau s-o permită în curând, a trebuit să se mulţumească a măsura duratele cu ajutorul clepsidrelor cu apă, des sigur prea puţin precise, sau prin mijlocul, şi mai rudimentar, care consta în numărarea bătăilor pulsului său.

Cu tot respectul pe care îl insp în a opera lui Galilei, nu se poate contesta că el a comis adeseori erori grave. Reflectând, a parvenit uneori să corecteze unele din ele. Am spus deja că în ultima sa operă, Discorsi, el formulase adevărata lege care leagă viteza unui corp în cădere liberă

de durata căderii, corectând astfel legea eronată pe care o propuse se mult timp. Cunoscând, fără îndoială, încă din tinereţe, caracterul aproximativ izocron al oscilaţiilor unui pendul, el a afirmat mult timp că perioada de oscilaţie era proporţională cu ungimea firului de suspensie a pendulului şi această ei o are este reprodusă şi în Dialogo: dar în Discorsi el dă relaţia exactă, după care perioada pendulului i variază cu rădăcina pătrată a lungimii firului de suspensie. A mai comis şi alte erori foarte grave pe care nu le-a rectificat niciodată. Aşa, de exemplu, antrenat încă, fără îndoială, de prioritatea pe care o acordau aristotelicienii şi scolasw 1 A w ticii mişcării circulare uniforme asupra mişcării rectilinii uniforme (a cărei existenţă li se părea a p r o a pe de ne conceput), Galilei a atribuit planetelor, în teoria sa heliocentrică despre siste inul solar, traiectorii strict circulare. Şi acest lucru este, într-adevăr, curios, deoarece cum putea el să nu ştie că contemporanul şi admiratorul său, Kepler, demonstrase, într-o manieră imposibil de combătut, caracterul eliptic al traiectoriilor planetare? În sfârşit, Galilei a susţinut întotdeauna că mare ele erau provocate de rotaţia Pământului şi această opinie constituie un regres foarte net, căci numeroşi f w A lw 1 w A. 1[33]

fuseseră cei care îşi dăduseră seama, înaintea lui Galilei şi chiar în antichitate, că fenomenul mareelor era legat mai ales de mişcarea Lunii.

Mai semnalăm că, uneori, bazându-se pe un pasaj din Dialogo, s-au emis dubii că Galilei ar fi efectuat realmente experienţele despre care vorbeşte. Aceste dubii nu par a fi

---

33 *

Să aruncăm acum o privire de ansamblu asupra existenţei lui Galilei. Din multe puncte de vedere se poate considera că ea a avut un caracter destul de dramatic. Galilei a cunoscut mari succese şi a făcut descoperiri strălucite care, fără nici o îndoială, i-au adus cele mai vii satisfacţii intelectuale, dar a întîmpinat şi multe dificultăţi, a fost neînţeles şi chiar persecutat. Întreaga lui viaţă a luptat pentru a se desprinde de ideile false care dominau ştiinţa din timpul tinereţii sale: într-o largă măsură a reuşit să se des-

întemeiate, căci Galilei a descris adeseori experienţele sale cu atâta precizie şi amănunte, încât pare de necrezut să nu le fi executat. De altfel, se pare că a avut asupra raporturilor dintre teorie şi experienţă o opinie conformă vederilor ştiinţei moderne. Observaţia şi experienţa trebuiau, credea el, să furnizeze bazele teoriilor care se cuveneau a fi adoptate; pe aceste baze trebuiau apoi să fie dezvoltate cu îndrăzneală consecinţele teoriei şi să se revină în sfârşit la observaţie sau la experienţa pentru a verifica previziunile astfel obţinute. În această manieră de a vedea, Galilei a fost de asemenea un precursor.

prindă de de şi acest efort greu i-a deschis orizonturi noi, dar n-a a uns n i e iodată să şteargă complet din mintea sa prejudecăţile epocilor precedente. A câştigat victorii admirabile, dar ele n-au fost niciodată complete.

Cu ocazia aniversării a patru sute de ani de la naşterea sa, evocăm cu emoţie măreaţa figură a acestui precursor. El s-a străduit mult, făr' a a ajunge vreodată complet să atingă ţelurile pe care le urmărea: a fost constrâns, printr-o nedreaptă condamnare, să-şi renege ideile privind sistemul

1 * * 1 * A".

universului, idei care îi erau scumpe şi la care nu putea renunţa; a murit bătrân, bolnav, orb, într-o singurătate aproape completă, aproape încarcerat în mica sa vilă din Arcetri. De aceea efortul său îndelungat, victorios şi incomplet totodată, ne apare astăzi ca simbolul emoţionant al dureroasei naşteri a's dint ei moderne.

CERCETAREA ŞI ÎNVĂŢĂMÂNTUL1

Doamnelor, domnilor.

Parcurgând recent o carte consacrată lui Charles Péguy, am citit o frază scrisă de el acum o jumătate de secol, frază care mi-a reţinut atenţia. „Nu există nimic atât de opus, scrie Pi guy, funcţiilor ştiinţei, ca funcţiile învăţământului, întrucât funcţiile ştiinţei cer o perpetuă nelinişte, pe când funcţiile învăţământului cer o certitudine imperturbabilă".

Aşadar, Péguy vede un fel de opoziţie fundamentală

între atitudinea cercetătorului ştiinţific, care.

9 9 9 7

prin însăşi natura spiritului său, este întotdeauna preocupat de descoperirea unor lucruri necunoscute încă şi preferă să pună la îndoială pe cele ce treceau drept bine stabilite, şi atitudinea profesorului, care, predând ceea ce se ştie sau se crede că se ştie, după un program ce-i este impus sau pe care singur şi l-a trasat, tinde, urmând o înclinare naturală, către un anumit dogmatism.

Este oare această opoziţie într-adevăr reală?

Aceasta e problema pe care ne-o putem pune. Ceea ce ne-ar putea face să ne îndoim este că gustul pentru cercetare şi cel pentru învnţământ există aproape întotdeauna simultan la un acelaşi individ, este că, în cursul secolelor şi din ce în ce mai mult i în timpurile moderne, cercetarea şi învăţământul de grad superior au fost în permanenţă unite. După ce a trecut prima tinereţe, în care primează dorinţa de instruire, apoi când imaginaţia şi ardoarea, în toată prospeţimea lor, favorizează primele descoperiri, cercetătorul înnăscut, ajuns la maturitate, resimte progresiv dorinţa de a comunica altora ceea ce a învăţat sau inventat şi, trecut de vârsta la care eşti elev, aspiră să aibă el însuşi elevi. Aşa că la ora actuală cea mai mare parte a cercetătorilor ştiinţifici sfârşesc prin a consacra învăţământului o parte din activitatea lor. Chiar cei care nu fac acest lucru – au fost numeroşi altă dată, în epoca în care puteai vedea magistraţi geometri, ca Fermat, sau financiari chimişti, ca Lavoisier – nu

W A 1 w A f v 1

renunţă în general să scrie, în afară de memorii specializate în care expun rezultatele cercetărilor lor, lucrări de ansamblu având un caracter didactic, ceea ce este de asemenea o formă de învăţământ. Cum se poate atunci vorbi de o opoziţie între cercetare şi învăţământ dacă una pare să-l atragă pe celălalt, dacă sunt aceiaşi oameni care le practică pe amândouă deopotrivă, ca şi cum ar fi necesară aici o adevărată simbioză?

Se pot găsi însă şi argumente în sens contrar. Este

cert că învăţământul are, prin însăşi esenţa sa, o tendinţă dogmatică, că tinde să fixeze sub o formă care s-ar vrea definitivă starea, în realitate întotdeauna provizorie, a cunoştinţelor noastre. Profesorul nu poate introduce mereu restricţii sau îndoieli în afirmaţiile sale; ridicând în faţa auditoriului edificiul concepţiilor noastre teoretice privind un subiect sau altul, el nu poate să-i arate mereu fragilitatea. Dacă ar face aşa, elevii săi, mai ales dacă sunt foarte tineri, ar avea impresia unei gândiri care şovăie şi şi-ar pierde încrederea în autoritatea lui. De câte ori în cursul lecţiilor sale profesorul nu are impresia că este mai afirmativ în privinţa rezolvării unor probleme în frazele pe care le pronunţă în public decât în reflecţiile sale solitare! în exerciţiul prelungit al predării, obişnuinţa intervine de asemenea într-un mod mai mult sau mai puţin disimulat, obişnuinţa care face ca gândirea să se cristalizeze, care abate de la ideile noi şi favorizează instalarea unor contestabile ortodoxii. Este bine cunoscut faptul că foarte mari savanţi au împiedicat uneori un timp destul de îndelungat progresele ştiinţei refuzând cu obstinaţie să admită puncte de vedere noi care, ulterior, s-au dovedit totuşi exacte şi fecunde. Fără îndoială că aici mai intervine adesea şi efectul vârstei care-l face pe om să rămână ataşat de concepţiile din epoca în care, tânăr fiind, avea loc formarea sa intelectuală. Dar mai este, fără îndoială, în această lipsă de supleţe a gândirii, consecinţa unei lungi obişnuinţe a predării scrise sau orale care, impunând întotdeauna să se ia ca baze anumite idei admise, face afirmarea acestora din ce în ce mai intransigentă. Cineva care a repetat în lecţiile sau cărţile sale de atâtea

O, 1 w CC A 1 J w.

ori „Se ştie bine că... în cele din urmă nici nu mai examinează fundamentele pe care se sprijină această afirmaţie atât de cunoscută.

Omului nu-i place să se dezică: îţi trebuie o mare tărie sufletească pentru a recunoaşte că poate te-ai înşelat. Or, învăţământul obligă neîncetat la opţiuni, la alegerea între opinii opuse şi aceasta – în contradicţie cu ceea ce

cred mulţi oameni – chiar în ştiinţele cele mai exacte. Or aceste opţiuni eşti obligat să le faci în mod public şi, atunci când le-ai f W, 1 W 1 w w – făcut şi le-ai răsfăcut, ai o oarecare jenă să te contrazici pe tine însuţi, punându-le la îndoială: există totuşi cazuri în care progresul ştiinţei se obţine cu acest preţ.

Orice om care scrie sau vorbeşte în public, care este prin urmare obligat să adopte o anumită atitudine faţă de problemele pe care le tratează, sfârşeşte pw w* iir în fără voia sa prin a îi prizonierul rolului pe care îi joacă şi nu se mai poate elibera de „personajul”.

AI A w Al w f * *, pe care îl încarnează. Adeseori, şi fără a fi pocnţ, ideile pe care le are în sinea sa, acelea pe care le frământă în meditaţiile sale solitare, sunt destul de diferite de acelea pe care, din obişnuinţă sau din obligaţie profesională, le exprimă în exterior prin viu grai sau în scris. În forul său interior el rămâne un cercetător care se nelinişteşte şi se îndoieşte, pe când în exterior el apare ca un magistru sigur de sine şi de ceea ce afirmă.

Cercetarea şi învăţământul sunt aproape inseparabile şi suferă adeseori că nu sunt asociate. Cercetarea alimentează învăţământul, iar învăţ-nântul, indispensabil pentru ca făclia ştiinţei să treacă de la o generaţie la cea următoare, fortifică cercetarea. Şi totuşi, din motivele pe care le-am analizat, există într-adevăr o anumită opoziţie între aceste două mamele la care se hrănesc nivelurile ridicate ale cunoaşterii. Învăţământul, cel puţin la nivel superior, şi munca de cercetare sunt ca doi fraţi duşmani uniţi printr-o strânsă legătură de rudenie pe care n-o pot rupe niciodată şi între care există cu toate acestea un fel de antagonism secret şi permanent. Cercetarea comportă în mod necesar o nelinişte perpetuă, învăţământul tinde de la sine către o certitudine imperturbabilă, care este opusul neliniştii. A ceas la este într-adevăr ceea ce a exprimat cu multă fineţe Charles Péguy în fraza care mi-a servit ca temă.

ÎN LEGĂTURĂ CU NOUL SISTEM DE UNITĂŢI1

Doamnelor, domnilor.

Un decret care va fi publicat destul de curând va legaliza în Franţa un nou sistem de unităţi de măsură. Abrogând legea din 2 aprilie 1919, care adopta ca unitate de lungime metrul, ca unitate de masă tona şi ca unitale de timp secunda, sistemul M.T.S., care în practică a fost destul de puţin utilizat, noul decret va adopta un sistem de tipul M.K.S., cu metrul ca unitate de lungime, kilogramul ca unitate de masă şi secunda ca unitate de timp, unităţi cărora li se vor adăuga ca unităţi de intensitate de curent electric, de intern

9 /

sitate luminoasă şi de temperatură, amperul, lumenul şi gradul Kelvin. Va fi astfel stabilit un sistem de unităţi foarte coerente. Unul din marile avantaje ale noului sistem este că el conduce la exprimarea energiilor în jouli şi a puterilor în waţi, stabilind astfel o joncţiune perfectă între unităţile mecanice întrebuinţate şi unităţile electrice. ti.

ale sistemului zis „practic" pe care le introduce definiţia amperului. Sistemul e.g.s., pe care fizicienii îl agreează, va rămâne fără îndoială utilizat în practică, dar unele unităţi vechi, a căror definiţie este defectuoasă, cum ar fi kilogramul-forţă şi calul-putere, vor trebui să dispară.

Reforma asife 1 realiza la este conformă dorinţelor form u late cu câţiva ani în urmă de către Conferin\ a internation ăla de Greutăţi şi Măsuri şi rămâne în cadrul general al sistemului metric introdus în Franţa în timpul revoluţiei, prin legile din 1 au gus t 1793 şi din 18 germinai al anului 111. Principalul avantaj al sistemului metric este că utilizează o scară în întregime zecimală care se acordă cu caracterul zecimal al sistemului de numărare folosit la ora actuală în toate ţările civilizate. Nu aşa stau lucrurile cu unităţile adoptate în ţările anglo-saxone, care n-au caracter zecimal şi oare se pretează foarte greu la calculul din sistemul de numărare pe baza zece. Aşa încât trebuie să se reziste energic la infiltrarea în Franţa a unităţilor angl o – saxone şi să se dorească, dimpotrivă, ca sistemul

1 w iww Pa w p *

metric pe bază zecimală să sfârşească prin a îi adoptat de toate ţările lumii.

Cu ocazia micului eveniment ştiinţific pe care îl va constitui noul decret privitor la unităţile de măsură, ar putea fi interesant să facem în legătură cu aceasta două observaţii care au o anumită importanţă din punct de vedere psiholo g ic.

În primul rând, se poate remarca cât de dificil este de a obţine adoptarea de către marele publ i e a unor noi unităţi de măsură. Contrar multor altor chestiuni ştiinţifice, aceea a unităţilor de măsură t 9 * 9

n tinge foarte direct marele public: aceste unităţi intervin, intr – adevăr, în viaţa de toate zilele, în special în toate tranzacţiile comerciale, mici sau mari. Obişnuiţi din copilărie să în trebuinţe ze anumite unită şi, majoritatea oamenilor abandonează cu greu folosirea lor pentru a a de p la unităţi n o i. J n vechea Fran tă din am te de revoluţie, unităţi 1 e

9*9

utilizate erau foarte complicate, adeseori nu aveau niciun caracter zecimal şi variau chiar, păstrând a acelaşi nume, de la o provincie la alta. Infinit mai pe e cise şi mai uşor de mânuit au f o st unităţile, deveni te legale din 1795, ale noului sistem me tric. Cu toate acestea, repulsia populaţiei de a utiliza unităţi noi, al e căror nume îi era până atunci necunoscut, a fost atât de mare, încât au t orităţile n-au îndrăznit să declare obligativitatea în trebu întării

O 9

u n i t ăţ îl or me tri ce, aşa încât vechile uni tăţ i, cu toate

11 convenientele lor, au continuat să fie folosite în mod cu re n t, în se e cia 1 la ţară. A te e b u i t să se aş te p te o jum aţa te de secol pentru ca o le ge decretată sub doin mă lui Lu de v i e – Filip să facă o b l igatorie între – b un ţ are a sistemului metric. Iar a pl i e are a acestei legi a stârnit a şi t aţi e şi e chiar a dat loc la rebeliuni pe une l e pie te din p r o v în e i e a t unc i când e o în e rei a n ţi i au

fost constrânşi să i se supună. Mai trebuie să nientio năm că folosire a vechilor unităţi a dăinuit multă vreme în di vor se regiuni rurale şi fără în –… 1. – doială că sporadic mai dăinuie pe alocuri. Începeineala cu e are p u blicul se adapte az à la noua unitate monetară, francul nou, devenită legală de la începutul acestui an, arată cât de dificil este – chiar atunci când trecerea de la vechea la noua unitate este foarte lesnicioasă – de a rupe în ace a’s t a p îi – vinţă cu obişnuinţe înveterate. Cu toate prescripţ îi 1 e noului de e re t, trebuie să ne aşteptăm ca părăsirea de către mecanicieni a kilogramului-fortă şi

O 9 f de către industria automobilului ac al ului-pu te re să nu aibă loc fără unele dificultăţi.

O altă observ a t i e ce se p o a te f ac e în legătură cu unităţile este următoarea: cu toate că p r oble mele care se pun în l egă t ură cu ele ar putea să pară destul de ari deşi austere, discut iile care se ridică în prin – vânt a lor între specia îi şti capătă adeseori un caracter foarte aprins. Acest lucru ar putea să ne mire, căci în fond orice sistem de unităţi bine definit şi coerent este acceptabil şi a alege între aceste sisteme este mai curând o chestiune de tendinţe personale şi de obişnuinţe dobândite. Dar tocmai fiindcă intervin te n din ţ ele şi obişnuinţele, punere a de acord e dificilă. Obişnuiţi din tinereţe să se servească de anumite unităt i s-au să execute anumite schimbări de unităţi, celor care se servesc de ele Io re pugnă să se familiarizeze cu alte sisteme noi: valorile anumitor constante fundamentale s-au imprimat în memoria lor sub forma anumitor num; re care le sunt familiare, le vine greu să ia în considerare înlocuirea unor numere prin altele şi se tem de confuziile care ar putea să rezulte de aici. Mecanicienii obişnuit i s-a ia în considerare corpuri cu masă mare ar prefera să păstreze ca unitate de masă tona, aşa cum a fost ea definită prin legea din 1919, decât să revină la kilogram, aşa cum li se va cere să facă. Mulţi fizicieni sunt ataşaţi de sistemul e.g.s. şi le place să jongleze cu unităţile electrostatice şi electromagnetice e.g.s., unora le place chiar să întrebuinţeze sistemul de

unităţi mixte al lui Gauss-Lorentz care combină utilizarea unităţilor electrostatice şi a unităţilor electromagnetice e.g.s. şi permite astfel să se dea celebrelor ecuaţii ale lui Maxwell o formă simplă şi simetrică deosebit de sugestivă; dimpotrivă, electricienii şi radioelectricienii, obişnuiţi să se servească de unităţi zise practice, preferă sistemul Giorgi sau 1 (. S.A., care permite realizarea joncţiunii între unităţile mecanice şi unităţile electrice şi care serveşte drept bază reformei a cărei realizare este iminentă.

Un vechi proverb spune: „Despre gusturi şi culori nu trebuie să se discute", ceea ce înseamnă că de fiecare dată când intervin sentimentele şi înclinaţiile individuale, e foarte greu să se evite discuţii aprige şi să se ajungă la o punere de acord. S-ar putea crede că pentru probleme atât de strict ştiinţifice cum este alegerea unităţilor de măsură, proverbul, adaptat la contingenţele vieţii de toate zilele, nu-şi poate găsi aplicare. Dar aceasta ar însemna să uităm că, dacă ştiinţa este în principiu independentă de părerile preconcepute şi de slăbiciunile omeneşti, savanţii le sunt supuşi, căci sunt oameni ca şi ceilall i. Iată de ce austerele discuţii asupra unităţilor de măsură sunt uneori foarte

1" J, w aprinse. Să conchidem deci, cu puţină ironie, parafrazând proverbul clasic şi zicând: „Despre gusturi şi unităţi poate să se discute întotdeauna".

CU PRIVIRE LA E VO LUT lA în VĂTĂMINT lj 1, U I1

Doamnelor, domnilor.

Ştiinţele şi aplicaţiile lor au căpătat de câţiva ani un rol din ce în ce mai important în evoluţia civilizaţiilor umane. Această afirmaţie este de un adevăr atât de evident, încât este inutil să i se aducă probe amănunţite. De altfel, această intervenţie din ce în ce mai largă a ştiinţelor şi a tehnicilor în toate aspectele vieţii oamenilor de astăzi merge accelerându-se din an în an şi nimic nu lasă să se prevadă că această mişcare s-ar putea încetini într-un viitor apropiat.

Deoarece instrucţiunea are ca scop esenţial de a-i pregăti pe tineri pentru sarcinile pe care le vor avea de îndeplinit mai târziu în cursul existenţei lor, este evident că

cunoştinţele ştiinţifice şi tehnice trebuie să ocupe un loc din ce în ce mai important în programele de învăţământ. Şi cum numărul orelor de curs sau de exerciţii practice, precum şi capacităţile de atenţie şi de asimilare ale tinerelor inteligenţe rămân în mod necesar limitate, rezultă ineluctabil o reducere progresivă a timpului consacrat în învăţământ altor aspecte ale formării intelectuale şi morale a elevilor. De aici decurge o schimbare profundă în orientarea formării tinerelor spirite şi această schimbare, efectuată în parte la ora actuală, nu poate decât să se accentueze mereu sub presiunea prestigiului crescând al ştiinţelor şi a necesităţilor cotidiene de ordin tehnic şi economic.

Reflectând la această problemă, putem înţelege de îndată în ce mod a fost şi va fi din ce în ce mai

9

mult nevoit să se transforme învăţământul la nivelurile medii şi superioare. Pe de o parte, în loc de a se adresa unei elite restrânse, el trebuie să devină accesibil unui număr crescând de tineri, de aşa manieră încât să furnizeze cercetărilor ştim

9 9

tei pure şi aplicaţiilor tehnice cadrele tot mai numeroase de care acestea au nevoie. Pe de altă parte şi corelativ, locul ocupat de studiul ştiinţelor şi al tehnicilor în şcoli şi în universităţi trebuie să ne

9 9, vină din ce în ce mai larg, ceea ce nu se poate întâmpla, aşa cum am spus, fără a micşora locul rezervat în ansamblul învăţământului disciplinelor clasice.

Dacă aceasta este o consecinţă inevitabilă a cursului însuşi al lucrurilor, ne putem întreba pe drept cuvânt dacă ea nu riscă să aibă urmări în anumite privinţe regretabile asupra ansamblului calităţilor intelectuale şi morale ale generaţiilor

9 9 O /

W * 1 W. W 1 1

care urmează şi dacă există oarecare mijloace de a atenua aceste eventuale pericole. Pentru a studia această

problemă este important, în primul rând, să se precizeze bine care sunt eventualele pericole.

Studiul ştiinţelor şi al aplicaţiilor lor la toate nivelurile exersează evident spiritele să raţioneze bine şi să fie precise. El conduce la formarea obişnuinţelor de muncă şi a perseverenţei, la dobândirea calităţilor de onestitate şi sinceritate intelec

9

luată. Acest studiu asociază pe cel ce i se dedică unui mare efort colectiv de., progres în domeniul ideilor şi în cel al acţiunii. învătământul ştiinţific este deci departe de a fi lipsit de valoare intelectuală şi morală. Există însă o umbră în acest tahlou. Ştiinţele şi tehnicile, atunci când rămân riguros pe terenul care le este propriu, rămân în esenţă îndreptate spre studiul lumii materiale şi al realităţilor concrete: din acest motiv, ele au t mdinta să facă abstracţie de om şi de tot ce coiistituie bogăţia vieţii sale inte îi oare, intelectuale, morale sau sentimentale. Desigur, omul de ştiinţă sau tehnicianul se preocupă, din fericire, adeseori de fii ni a umană, de nevoile sale, de plăcerile sau de suferinţele sale, dar, atunci când o face, el introduce în gândirea sa consideraţii care nu sunt strict ştiinţifice şi tehnice. Substituind un învăţuniânt prea pur ştiinţific învăţământului clasic de tendinţă umanistă, nu voni provoca oare în rândul generaţiilor viitoare o slăbire simtitoare a sensului a ceea ce este uman, o periculoasă restrângere a tuturor orizonturilor în domeniile morale, sentimentale şi chiar intelectuale?

Iată şi un alt pericol. Învăţământul clasic, centrat în esenţă pe studiul omului şi al vieţii sale interioare şi exterioare, acordă un loc de frunte artei

9 /

— le a-ţi exprima gândirea cu eleganţă şi precizie. Oi, acest lucru este foarte important pentru literatură, plecinţă, administraţie s-au afaceri, dar şi pentru’s dint a’s i tehnica înses i. În timpurile când în sti în că şi în tehnică concepţiile şi pe o ce d cele de realizare devin cu fiecare zi mai subtile şi mai complexe, nu este oare deosebit de

necesar să stim să le ex

9

punem cu claritate şi fără ambiguitate? Dar cum să facem aceasta dacă nu stăpânim pe dep l în limba în care le exprimăm? Această stăpânire desăvârşită, va şti oare noul învăţământ s-o transinită?

Acestea sunt pericolele ce pot fi sesizate în evoluat ia actuală şi ireversibilă a învăţ: amântului. Aici nu

9 9

putem decât să arătăm în câteva cuvinte cum ar putea fi evitate. În primul rând, va fi necesar să se păstreze, cel puţin în înv a ţ a mân tu l elementar şi mediu ce se capătă înainte de vârsta specializărilor, un loc important anumitor discipline care caracterizau studiile clasice de altă dată. Dacă nientinerea studiului limbilor şi al operelor literare ale a n tic hi tă ţii pe locul pe care îl deţineau altă dată în studiile de gradul doi pare imposibilă, în schimb pare foarte de dorit ca o parte însemnată a programelor să rămână rezervată însuşirii cunoştintrlor literare, psihologice şi morale; astfel s-ar putea continua să se transmită adolescenţilor acea cunoaştere a valorilor umane care avea ca scop să le pună la îndemână metodele, ce nu pot fi menţinute în întregime, ale umanismului clasic. Va trebui, de asemenea, să se păstreze un loc important istoriei şi geografiei, a căror cunoaştere este atât de instructivă, singurele de altfel care ne permit să înţelegem cum descind oamenii de azi din oamenii

1 1* J * 1 „A w de ieri şi din mediul ce-i înconjură.

Deoarece disciplinele ştiinţifice sunt, desigur, chemate să ţină de acum înainte un loc considerabil în form are a tineri lor, ar putea fi util să se introducă chiar şi în aceste cursuri unele elemente susceptibile de a „um aniza” acel element impers o – nal pe care cunoştinţele pur raţionale sau utilitare le pot avea în exces. O modalitate de a ajunge la aceasta ar fi de a rezerva în aceste cursuri un locşor i istoriei ştiinţelor şi unor sinteze asupra mersului gândirii ştiinţifice, sinteze cărora li se dă a deseori denumirea cam inexactă de „filosofia ştiinţelor”.

77 9 9

O wA www.A Ai * *

Să încercăm acum să rezumăm în câteva cuvinte problema pe care am examinat-o mai sus sub unele aspecte. Complexitatea crescândă a civilizaţiilor contemporane şi a tuturor activităţii or e are sunt necesare funcţionării lor cere ca instrucţiunea să fie mult mai larg răspândită decât altă dată. În plus, locul deţinut în viaţa omenirii de către ştiinţă şi tehnică devenind pe zi ce trece tot mai mare, este indispensabil ca ştiinţa şi tehnica să ocupe de acum înainte un loc foarte mare în învăţământ. O reformă profundă a cadrelor şi a programelor de studii a şi rezultat de aici şi va continua. Ne-am putea teme, pe drept cuvânt, ca, sub influenţa specializării şi a caracterului impersonal al cunoştinţelor pur ştiinţifice şi tehnice, anumite v valori, care ar fi important să fie păstrate, să nu cumva să se piardă şi ca, în dom eniul culturii, o extindere a bazei să nu antreneze o nivelare a vârfurilor. Nu trebuie totuşi uitat că în multe cazuri se operează restabiliri de echilibru şi că facultatea de a se adapta la circumstanţe noi este una din principalele caracteristici ale fiinţelor vii. Putem deci, trebuie www.e”. w «A

chiar, să sperăm că omenirea civilizată va şti în viitor să se adapteze unor condiţii intelectuale şi materiale foarte diferite de acelea care au existat în trecut fără ca, din această cauză, să piardă în domeniul gândirii şi al acţiunii gustul pentru orizonturi largi şi aspiraţii înalte.

NECESITATEA LIBERTĂŢII ÎN CERCETAREA ŞT 1 INŢIFI CĂ1

Doamnelor, domnilor.

Cercetarea ştiinţifică, sub o formă simplă şi primitivă, a existat încă de la începuturile omenirii. Înconjuraţi de o natură de la care trebuiau să utilizeze resursele, să-i evite pericolele şi să-şi obţină mij 1 oacele de existenţă, oamenii au fost constrânşi să o observe, să caute s-o înţeleagă, să desprindă din fluxul necontenit al fenomenelor naturale acele regularităţi pe care le numim legi. Au trebuit însă să treacă multe secole pentru ca cunoştinţele dobândite să

înceapă să se consolideze, pentru ca diferitele ramuri ale ştiinţei să se separe şi să se organizeze, pentru ca învăţământul oral şi scris să permită transmiterea progreselor realizate generaţiilor succesive.

Abia la începutul epocii moderne, în secolele al XVI-lea şi al XVII-lea, vedeni creându-se importante centre de cercetare şi de învăţământ, iar oamenii de ştiinţă se hotărăsc să se grupeze în Academii sau Societăţi ştiinţifice pentru a-şi comunica descoperirile şi a le discuta între ei. Dar până în cursul secolului al XI X-Jca organizarea cercetărilor şi a învăţământului rămâne încă destul de slab a şi J estu 1 de embrion ară. O a me nii de ştiinţă mai lucrează încă dispersaţi, urmărindu-şi fiecare ideile sau experienţele proprii, fără mari mijloace materiale la dispoziţie şi, cel mai adeseori, fără multă legătură cu ceilalţi cercetători. Situai ic o

oarecum anarhică fără îndoială, care nu era deloc favorabilă eforturilor coordonate şi progreselor rapide, dar care lăsa câmp liber tuturor iniţiativelor individuale, tuturor tentativelor îndrăzneţe ale spiritelor viguroase.

De la începutul secolului nostru, şi în special în ultimii douăzeci sau treizeci de ani, această situaie s-a modificat profund ca urmare a complicării mercu crescânde a noilor nevoi toi mai mari alcivilizaţiei industriale i tehnice în care trăiin. A fo’ 3 t necesar să se organizeze un număr sporit de laboratoare a căror dotare foarte complexă cere credite lot mai considerabile, a trebuit să se stabilească contacte multiple între cercetătorii din ce în ce mai specializaţi, să se creeze centre de învăţământ din ce în ce mai tentaculare, care parvin cu greu să răspundă nevoilor unui număr crescând de student i.

De aici a rezultat o rapidă evoluţie a întregii organizări a cercetării şi a învăţământului. Evoluţie utilă, desigur, şi chiar necesară, căci numai ea

O / I

poate permite să se facă faţă nevoilor actuale ale ştiinţelor şi ale tehnicii, poate să le furnizeze organismele

şi mijloacele materiale de care au nevoie, să asigure posibilitatea unor noi cercetări în domeniile în care ele sunt necesare. În schimb, această evoluţie prezintă şi multe inconveniente. Înmulţirea organismelor administrative, intervenţia permanentă a birourilor, adeseori atinse de deformare profesională, permanente preocupări financiare, tendinţe spre organizări mai mult sau mai puţin rigide, spre „planificări" imperative, care riscă să închidă activitatea cercetătorilor şi a profesorilor într-un corset rigid, iată câteva din inconvenientele pe care noua orientare pare a le prezenta. De acum înainte nu numai cariera cercetătorilor şi a profesorilor, dar ceea ce este mult mai grav – orientarea însăşi a activităţii lor riscă să fie din ce în ce mai mult supuse deciziilor administratorilor şi comisiilor de specialişti. Fără îndoială, aceşti administratori sau membrii acestor comisii vor fi în general conştiincioşi şi competenţi, dar vor şti ei oare întotdeauna să scape de influenţa ideilor preconcepute sau a tendinţelor personale? Istoria ştiinţelor arată că cele mai mari progrese au fost efectuate de gânditori îndrăzneţi, care au sesizat căi noi şi fecunde pe care alţii nu le observaseră. Dacă ideile savanţilor de geniu, care au fost promotorii ştiinţei moderne, ar fi fost supuse unor comisii de specialişti, ele le-ar fi părut acestora extravagante şi ar fi fost înlăturate tocmai din cauza originalităţii şi profunzimii lor. De fapt, unii dintre aceşti promotori – luptele sus! mute altă dată de Fresnel şi de Pasteur ar fi suficiente pentru a o dovedi – s-au izbit de ostilitatea şi de incomprehensiunea unor savanţi eminenţi; ei au triumfat asupra acestora, dar, pe măsură ce organizarea cercetării devine mai rigidă, creşte pericolul ca ideile noi şi fecunde să nu se poată dezvolta liber.

Să tragem în câteva cuvinte concluzia la cele precedente. În timp ce, prin forţa însăşi a lucrurilor, asupra cercetării şi învăţământului ştiinţific creste apăsarea structurilor administrative, a preocupărilor financiare şi armătura greoaie a reglementărilor şi a planificărilor, este mai indispensabil decât oricând să

prezervăm libertatea spiritului ştiinţific, libera iniţiativă a cercetătorilor originali, pentru u că ele au fost întotdeauna şi vor fi, fără îndoială.

9

Întotdeauna izvoarele cele mai fecunde ale marilor progrese ale ştiinţei.

CU PRIVIRE LA CONSECINŢELE PROGRESULUI ŞTIINŢE I1

Doamnelor, domnilor.

Intrăm într-o perioadă în care totul pare să arate că aplicaţiile ştiinţelor vor juca în viaţa societăţilor omeneşti un rol din ce în ce mai important. Profitând de descoperirile care, de două secole încoace, s-au acumulat într-un ritm tot mai accelerat, tehnica şi-a înmulţit invenţiile din ce în ce mai rafinate. Ea a invadat viaţa noastră cotidiană şi a ameliorat-o considerabil în multe privinţe, a suprimat aproape distanţele pe supra-ţi, în A. 1 1 „m 1 w w faţa pământului, a permis omului să audă şi să vadă de la distanţă. Ea începe să facă posibilă explorarea spaţiului care înconjură planeta noastră, deschizând astfel oamenilor de ruine perspective de a putea reînnoi, la o scară mult mai mare, cutezătoarele fapte de eroism ale conchistadorilor

Renaşterii care, cu o îndrăzneală de necrezut, f * *

se avântaseră în regiuni necunoscute. Medicina, chirurgia, farmacia au contribuit la prelungirea vieţii omului şi la alinarea suferinţelor sale, în

9 9 9 9

timp ce progresele biologiei, permiţând acţiunea directă a omului asupra organismelor vii, deschid dei a perspective imense şi uneori tulburătoare.

Este deci indispensabil de a forma în rândul tinerelor generaţii un număr considerabil şi mereu

A 1*” * i i în creştere de Lju. ti savanţi, medici, ingineri şi tehnicieni care în lumea de mâine, dominată de ştiinţă şi de tehnică, vor furniza cadrele necesare vieţii cotidiene şi rapidei sale evoluţii. Astfel, celor care au sarcina organizării şi dirijării învăţământului li se pun

grele probleme materiale, intelectuale şi chiar morale, a căror soluţionare rapida este necesară şi totodată presărată de dificultăţi. De aici va rezulta, pentru un sector foarte larg al învăţământului, o profundă schimbare în ce priveşte formarea tinerelor spirite. În mod logic această formare trebuie să reuşească să furnizeze ştiinţei şi tehnicii efectivele care le sunt necesare.

9 9 9 *

Însă cu preţul unei scăderi aproape sigure a culturii generale, cu preţul unei specializări aproape inevitabile. Acest lucru nu se va produce fără unele inconveniente, deoarece cultura generală, arta de a exprima bine gândirea, vastitatea cunoştinţelor, care permite descoperirea analogiilor ascunse şi realizarea sintezelor fecunde, au jucat întotdeauna un mare rol în marile descoperiri ale ştiinţei şi sunt neîndoielnic necesare progresului ei. De aceea este de dorit ca în sânul noilor elite (le oameni de ştiinţă şi de tehnicieni orientaţi spre

9 9 9 9 i perfecţionări de amănunt, spre aplicaţii şi spre calcule, să se menţină un fel de elită a elitei care, păstrând gustul pentru idei generale şi viziuni de ansamblu, să ştie să realizeze marile descoperiri şi progresele decisive care n-au fost niciod a t a opera unor specialişti prea înguşti. Nu trebu ic de altfel să ne închipuim că mărirea numărului de cercetători va avea în mod necesar ca efect crrsterea considerabilă a numărului acelora al căror nume va rămâne legat de noi capitole ale ştiinţei. Calităţile care le sunt necesare sunt daruri înnăscute pe care o cultură vastă le ajută să rodească, dar care nu ar putea fi create prin învăţământ, mai ales dacă acesta se îndreaptă prea exclusiv spre specializare şi tehnică.

Aşadar, este destul de greu de spus la ora actuală dacă progresele ştiinţei, în sensul ei cel mai general şi mai elevat, vor fi sau nu accelerate prin dezvoltarea e r ei tehniciste ce p are a începe. Viitorul este în faţa noastră, foarte promiţător, desigur, dar şi p 1 m de teribile peric ole, ştim prea bine acest lucru. Nimic nu permite să ne

sustragem inevitabilei lui veniri şi nu putem decât să ne mărgin im a spera. Astăzi mai mult ca oricând, viitorul care ar putea fi atât de frumos sau atât de tragic este, pentru noi, aco pe rit de un văl des, iar ochii noştri nu sunt destul de pătrunzători spre a vedea dincolo de el care va fi destinul aventurii umane.

În pragul erei atomice, optimismul în ceea ce priveşte viitorul oamenilor rămâne un act de credinţă.

ŞTIINŢA ŞI APLICAŢIILE El1

Acum o jumătate de secol, în introducerea la cartea sa Ştiinţa modernă şi stadiul ei actual, ilustrul matematician Emile Picard, căruia am avut onoarea de a-i urma ca preşedinte al societăţii dumneavoastră, constata cu oarecare îngrijorare că majoritatea oamenilor admiră în ştiinţă mai ales minunatul spectacol al aplica ţin or ei, aplicaţii care au modificat atât de mult condiţiile de existenţă ale popoarelor civilizate. El exprima teama ca oamenii să nu-şi facă astfel decât o idee incompletă despre raporturile existente între progresele tehnicii şi ştiinţa teoretică şi dezinteresată, ale cărei descoperiri sunt adeseori izvorul celor mai neaşteptate aplicaţii. Or, spunea el, „acest izvor ar seca rapid dacă un spirit exclusiv utilitar ar ajunge să domine în societăţile noastre prea preocupate de satisfacţii imediate”.

Din epoca în care Picard scria aceste rânduri, aplicaţii le ştiinţei şi performanţele tehnicii s-au dezvoltat într-un mod nemaiauzit, cu totul imposibil de prevăzut în primii ani ai secolului nostru. Şi cum această bruscă expansiune în domeniile cele mai diverse a răsturnat profund toate con di ţi de vieţii omeneşti, opinia p publică – deşi dorind, bineînţeles, ca niciodată să nu se facă uz de groaznicele mijloace de distrugere de care d i spunem astăzi – ar p u L e a să ajungă cu uşurinţă să creadă că scopul prin ci p al şi aproape exclusiv al ştiinţei este de a îmbunătăţi condiţiile existenţei noastre şi de a deschide noi domenii activi t ătilor noastre. Această manieră de a vedea este tocmai ceea ce altă dată îl în gr ijora pe Pi e ar ci şi peri co l u l pe care el îl’s semnala n-a încetat să

existe.

Dacă vrem să luăm în cons i derare cu toată imparţialitatea această problemă, se cuvine ca mai întâi să aducem om a giu valorii nu numai pe ac tice, ci şi intelectuale ac ce a ce am numit mai sus aplicaţiile ştiinţei şi performanţele tehnicii. Cine a urmărit cât de puţin progresele nenumăratelor aspecte pe carele pe ez iată ele astăzi, nu p poate să nu fie izbit de tot ceea ce reprezintă ca muncă, ingeniozitate şi dificultăţi învinse. Ar fi profund ne drept să nu ad u cern un om a giu la tot ceea ce comportă, ca eforturi şi inteligenţă, opera trăvârşită de ingineri, de tehnicieni şi de toţi cei care se pre ocupă de aplicaţiile ştiinţei.

Nu este însă mai p u ţin adevărat că rămâne ceva e xa et în temerile lui Emile Picard. Istori a ştiinţe – lor dovedeşte cu nenumărate exemple că marile aplicaţii au derivat aproape întotdeauna din marile descoperiri făcute de cercetători care nu se preocupau de aceste aplicaţii şi e are căutau, înainte de toate, să satisfacă acea dorinţă de înţelegere şi de cunoaştere care este una dintre tendinţele esenţiale ale inteligenţei umane. Pentru a nu da decât un e xem plu care, ţinând de propriul meu dome ni u de cercetări, are au antajul de a fi de absolută actualitate, voi e ita celebra lucrare în care Albert Einstein, în 1917, a introdus noţiunile de emisii provocate şi de emisii spontane de radiaţii. Urmărind exclusiv o satisfacţie intelectuală, el

C lut a se al u un ci o ar să fi îi nă Î 11 e ” i d p îl t a ’1 1 C g; f l nrj ascunsă între legra ra liaţiei corpului n; gru a lui

Planck şi legea frecvenţelor a lui Bo: hir. Or, în ultimii ani, această lucrare deja veche şi cu aspect pur speculativ a călăuzit mereu în eforturile lor pe cei care au pus la punct acele admir ab de aparate i numite maseri şi laseri.

I

Acest rol decisiv pe care îl joacă cercetările de ştiinţă pură şi dezinteresată, de ştiinţă fundamentală cum se spune astăzi, în progresul aplicaţiilor şi al tehnicilor s-a

menit mut constant în cursul în

tregii istorii a ştiinţei şi nu există niciun motiv să

D I < şi nu credem că el va rămâne esenţial pentru progresele viitoare ale industriilor şi ale tehnicilor. Cer»

cetările’s dint ei fundamentale au fost şi vor rămâne

9 9

În mod cert izvorul fecund al tuturor aplicaţiilor, iar Emile Picard avea, desigur, dreptate să spună că acest izvor ar seca în curând dacă toţi cercetă

9

torii st iintif i ci n-ar mai avea în vedere decât sco

9 9

puri utilitare.

Există deja un foarte serios motiv pentru a dori ca cercetarea’s dintifică să nu se or i e n te ze exclusiv

9 *

către realizări practice: acest lucru pare de dori L în interesul însuşi al progresului acestor realizări. Mai există însă şi un alt motiv, de natură ele vată, care conduce de asemenea la formularea acestei dorinţe. Nesecata dorinţă de a cunoaşte, bucuria

— 9 >

supremă de a înţelege au făcut întotdeauna parte din marile forte care orientează eforturile inteli

9

g. rupţi omeneşti. Ele sunt onoarea speciei noastre, ele sunt acelea care au permis puţin câte puţin omului cavernelor să devină omul secolului al XX-lea. Ace astă dorinţă de a înţelege, această dragoste de a cunoaşte sunt caracter is tici esenţiale

O»

ale spiritului uman; ele îi conferă pe suprafaţa planetei noastre o superioritate pe care calculatoarele electronice, cu toată precizia şi rapiditatea uimitoare cu care ştiu să efectueze e al e ule l e ce li se cer, nu sunt în stare să i-o ra pească. Ar fi o groaznică decădere pentru specia umană de a nu mai păstra aceste tendinţe înnăscute care au stat la origin? a tuturor progresel or sale.

Inspirându-ne dintr-o bine cunoscută frază a lui Montaigne, vom încheia spunând: dacă ştiinţa trebuie să fie întotdeaun a şi din ce în ce ni ai 1 nul t o une a stă de 111 inunată folosinţă, că trebuie de asemenera să rămână în esenţă un a din marile podoabe ale spiritului nostru.

Sumar

Cuvânt înainte: Edmond Nicolau 5
Prefaţă: Louis de Broglie 17
ARTICOLE CU CARACTER GENERAL
Anxietatea mea în faţa problemei cuantelor 23
Reprezentările concrete în microfizică 32
Ideile care mă călăuzesc în cercetările mele 52
EXPUNERI ŞTIINŢIFICE RECENTE (1961 – 1965)
Fenomenele fotoelectrice îi o 75
Dispozitive cu semiconductori... i – «a «o 81
Mecanica ondulatorie şi. microscopia electronică 91
Laserii şi importanţa lor teoretică... ou. 96
Coexistenţa fotonilor şi undelor în radiaţiile electromagnetice şi teoria dublei soluţii 108
Fizica teoretică. Despre relaţia de incertitudine
27 t...» – ... „124
Termodinamicii „a Acunsă" a particulelor... 129
Mecanica ondulatorie. Despre teoria focarelor cinetice îl termodinamica particulei izola te u... 153
297
NOTE ŞI DISCURSURI
Notă despre viaţa şi opera lui Georges Darmois... 159
Not: l despre viaţa şi opera I ui J can Be jq noroi 182
Notă despre viaţa şi opera lui Cainille Gutton. 202
Omagiu naţional lui Jean Perrin 222
Viaţa şi opera lui Niels Behr 227
Omagiu memoriei lui Emile M eyerson 235
Pascal – om de ştiinţă 243
Galilei şi zorile ştiinţei moderne 255
C ercet a rea şi învăţ a mint ui 273
În legătură cu noul sistem de unităţi 277
Cu privire la evoluţia învăţământului 281
Necesitatea libertăţii în cercetarea ştiinţifi că... 286

Cu pe i vi re la consecinţele progresului ştiinţei... 289
Ştiinţa şi aplicaţiile ei 292
IDEI CONTEMPORANE
În pregătire:
* * Procese revoluţionare în ştiinţă şi tehnică şi dezvoltarea societăţii
* * Ştiinţa şi contemporaneitatea
* * Catastrofă să-i o nouă societate? (Un model latino-american al lumii) Modelul Bariloche
J. W. BOTKIN. M. ELMANDIRA, M. MALIŢA – Orizontul fără limite al învăţării (Raport către Clubul de la Roma)
COLECTIV SUB EGIDA UNESCO – Rasismul în faţa ştiinţei
SHINGO SHIBATA – Filosofia marxistă şi revoluţia ştiinţifică-tehnică
K. GALBRAITH – Ştiinţa economică şi interesul public
BERTRAND DE JOUVENEL – Progresul în om (Contribuţii la o critică a civilizaţiei puterii)
D. GABOR şi U. COLOMBO – Să ieşim din epoca risipei (Raport către Clubul de la Roma)
ALBERT SZENT-GYT>RGYI – Pledoarie pentru viaţă (texte)
ALBERT EINSTEIN – Fizica şi realitate a (texte)
P. L. KAPIŢA – Experiment, teorie, practică
ALFRED KASTLER – Această stranie materie
* * * Direcţii şi tendinţe contemporane în studierea fenomenului religios (texte)
J'ORGEN HABERMAS – Texte social-filozofice P.-H. CHOMBART DE LAUWE – Cultura şi puterea
M. E. OMELIANOVSKI – Dialectica în fizica contemporană
ADAM SCHAFF – Istorie şi adevăr ERICH FROMM – Scl ieri filosofice
MARIO BUNGE – Filosofia ştiinţei (texte)
LUDWIG VON BERTALANFFY – Teoria generală a sistemelor
J. GALTUNG – Metodologie şi ideologie

NS SELYE – Mesajul omului de ştiinţă (texte)
STfiPHANE LUPASCO – Logica dinamică a contradictoriului (texte)
JEAN-PAUL SARTRE – Critica raţiunii dialectice ERNST BLOCH – Principiul speranţei KARL JAS PERS – Scrieri filosofice MARTIN HEIDEGGER – Staţiuni ale drumului EDMUND HUSSERL – Scrieri filosofice alese
Redactor: SANDA MIHAESCU-BOROIANU Tehnoredactor: FLORIAN SĂPUNARESCU
Format 24/60X90. Coli editura 13, 64. Coli tipar 12, 50. Bun de tipar 27 februarie 1980.
Apărut – septembrie 1980.
IS
Comanda nr. 8961/90 152 Combinatul poligrafic „Casa Scânteii".
Piaţa Scânteii nr. 1, Bucureşti.
Republica Socialistă România
ÎN COLECŢIA. IDEI CONTEMPORANE* AU APĂRUT:
Ştiinţă şi sinteză – Colocviu UNESCO R. Garaudy: Marxismul secolului XX G.N. Volkov: Sociologia ştiinţei
L. Althusser: Citindu-l pe Marx
V. Roman: Revoluţia ştiinţifici tehnici. Eseuri
R. Richta şi colectiv: Civilizaţia la răscruce
M. Dufrenne: Pentru om
L. Goldmann; Sociologia literaturii
P.V. Kopnin: Bazele logice ale ştiinţei
1. Nikolov: Cibernetica şi economia
N. Wiener: Sunt matematician
N.N. Constantinescu: Problema contradicţiei în economia socialistă
1. Hermann: KJtsch-ul, fenomen al pseudoartei A. Peiletier, J.J. Goblot: Materialismul istoric şi istoria civilizaţiilor
A. Toffler: Şocul viitorului
R. Flori an: Reflecţii asupra filosofiei marxiste
— Mutaţii contemporane în ştiinţă şi tehnică să implicaţiile lor
Ştiinţă, filosofie, ideologie

M. Drăgâoeâcu: Muncă şi economie

Revoluţia ştiinţifică-tehnică şi progresul L. Sdve: Marxismul şi teoria personalităţii

Lukács: Ontologia existenţei sociale

Revoluţia socialistă şi revoluţia ştiinţifici-tehnică M. McLuhan: Galaxia Gutenberg

M. Mesarovie, E. Pestei: Omenirea la răspântie C. Wright Mills: Imaginaţia sociologică T. Kotarbiński: Tratat despre lucrul bine făcut

Revoluţia ştiinţifică-tehnici şi modernizarea forţelor de producţie

M. Drăgânescu: Sistem şi civilizaţie E. Bonnefous: Omul sau natura?

C.I. Gulian: Marxism şi structuralism

N.N. Constantinescu: Economia protecţiei mediului natural I.T. Frolov: Progresul ştiinţei şi viitorul omului

Marcusc: Scrieri filosofice N.P. Dtibinin: Mişcarea eternă

Problemele păcii şi ale războiului în condiţiile revoluţiei ştiinţifice şi tehnice. Necesitatea istorică a dezarmării

W. Heisenberg: Paşi peste graniţe

Coordonator Jan Tinbergen: Restructurarea ordinii internaţionale

C. Lévi-Strauss: Antropologia structurală

Corelaţia dintre infrastructura, structura şi suprastructura societăţii socialiste din România în condiţiile revoluţiei ştiinţifice şi tehnice

N. Georgetcu-Roegen: Legea entropiei şi procesul economic

Toynbee: Oraşele în mişcare

G. Kuzneţov: Raţiune şi fiinţare

E. Schrödinger: Ce este viaţa? Spirit şi materie

Bary Commoner: Cercul care se închide (Natura, Omul şi

Tehnica)

G. Prestipino: Natura şi societatea

1 „Annalen der Physik”, 10, 3, 22, 1925.

1 J.C. Taylor, Gauge theories of weak interactions, Cambridge University Press, 1976.

1 Programul-directivă de cercetare ştiinţifică, dezvoltare tehnologică şi de introducere a progresului tehnic în perioada 1981 – 1990 şi direcţiile principale până în anul 2000, Editura politică, Bucureşti, 1979, p. 39.

P *

tru o energie d aţă, lungimea de undă scade când masa particulei creşte, ar trebui să putem obţine cu un microscop protonic o putere de separare şi în ai ridicată decât cu un microscop electronic. Din păcate, di ficultăţ i practice destul de mari să o pun folosirii microscoapelor protonice: câteva încercări au fost totuşi făcute în acest sens şi, la Paris.

9» /

Claude Magnan şi colaboratorii săi au putut realiza 11 n proto tip al unui astfel de microscop.

Punerea la punct din ce în ce mai perfecţiona la a inicrosco ap celor electroni ce a deschis ştiinţei contemporane un câmp imens de noi investigaţii, şi anume în fizică, în biologie şi în niicrobiologie. Oamenii de ştiinţă se află astfel, în d om erai foarte

9 9 7

diverse şi de o importanţă considerabilă, în posesia unui instrument de observaţie de o pultre şi d (* o fineţe cu totul ne gal a te până acum.

(1) v = – (h constanta lui Planck)

h

1 Discurs pronunţat la Sorbona la 13 iunie 19 b2.

243

1 Blaise Pascal, Cugetări, Editura ştiinţifică, Bucureşti, 1967, p. 103.